

9  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"**

**“DISEÑO OPTIMO DE LAS ESCOLLERAS DEL PUERTO  
FRONTERA TABASCO”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**I N G E N I E R O C I V I L**

PRESENTA :

**JOSE ISABEL DOMINGUEZ SANCHEZ**

ACATLAN, EDO. DE MEXICO 1988



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

		Páginas
I N T R O D U C C I O N		1
CAPITULO I.	GENERALIDADES	3
I.1	Ubicación de la zona	3
I.2	Aspectos socioeconómicos	3
I.3	Teoría sobre escolleras	11
CAPITULO II.	ESTUDIOS BASICOS DE LA ZONA	14
II.1	Características generales del río Grijalva - Usumacinta	14
II.2	Condiciones meteorológicas	15
II.3	Condiciones oceanográficas	24
II.4	Análisis de refracción	41
II.5	Transporte litoral	47
CAPITULO III.	ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION	59
III.1	Planteamiento de alternativas	59
III.2	Alternativa más adecuada	66
CAPITULO IV.	DISEÑO OPTIMO DE LAS ESCOLLERAS	68
IV.1	Diseño de la sección constructiva	69
CAPITULO V.	DETERMINACION DE CANTIDADES DE OBRA	83
V.1	Presupuesto preliminar	85
C O N C L U S I O N E S		87
B I B L I O G R A F I A		88
RELACION DE PLANOS		
1	Secciones hidráulicas representativas	
2	Refracción del oleaje, NW 60°, $\alpha = 242^\circ$ , T= 9 seg.	
3	Refracción del oleaje, NW 30°, $\alpha = 271^\circ$ , T= 9 seg.	
4	Refracción del oleaje, NW 0°, $\alpha = 301^\circ$ , T= 9 seg.	
5	Refracción del oleaje, NE 30°, $\alpha = 331^\circ$ , T= 9 seg.	
6	Planteamiento de alternativas.	

## I N T R O D U C C I O N

La importancia que tiene el desarrollo portuario en nuestro país, es primordial, para mejor distribución regional de la población; para aumentar oportunidades de empleo; incrementar niveles de bienestar social y aprovechar al máximo los recursos naturales que ofrecen las costas y los mares.

El presente trabajo, es con el fin de plantear alternativas de solución para proteger el Puerto de Frontera Tab., contra las corrientes litorales y el problema del azolve en la desembocadura del río Grijalva.

Las alternativas de solución aquí planteadas, fueron 3, las cuales constan de lo siguiente:

- 1a. Ampliar y prolongar el canal lateral, lo suficiente para el actual tráfico marítimo, además proteger éste, contra la erosión de las corrientes marinas y el oleaje, por medio de la construcción de escolleras, hasta la cota - 5.50 m. ( con relación al Nivel de Baja mar Medio, N B M ).
- 2a. Rehabilitar el canal existente, entre la isla azteca y la punta buey y construir escolleras hasta la cota - 5.50 m . para proteger el acceso contra las corrientes marinas y el oleaje.
- 3a. Encausar el o río hacia el fondo del mar, con la construcción de escolleras hasta la cota - 3.00, pero pasando por las cotas - 5.00 y 4.00, además de que estas escolleras tiendan a converger, para garantizar el autodragado del río.

De las tres alternativas aquí planteadas, la que se consideró óptima fue la 3a. , debido a que ésta, sí se aproxima a la solución de los objetivos planteados, aunque faltaría por definir el alineamiento en planta, hasta no ver el efecto real del cauce y el oleaje por medio de un modelo hidráulico a escala para ver las velocidades reales si son o no, capaces de arrastrar los sólidos en suspensión.

Cabe mencionar que esta alternativa es la más costosa por su gran longitud de escolleras.

Para el planteamiento de las alternativas, se tomaron en cuenta las características físicas de la zona tales como; vientos, oleajes, mareas y transporte litoral. Estas características, no se pueden eliminar en este estudio, ya que son determinantes en el proyecto de las escolleras.

## CAPITULO I . GENERALIDADES

A continuación, se mencionará de forma general, la ubicación de la zo  
na, aspectos socioeconómicos y teoría sobre escolieras.

### I.1 Ubicación de la zona

Frontera Tabasco, se localiza aproximadamente a 70 km al Noroeste de Villahermosa Tab., y aproximadamente a 94 km. al Suroeste de Cd. del Carmen Campeche; sus coordenadas geográficas son:

18°33'15" Latitud Norte  
92°40'05" Longitud Oeste

Localizando en la margen derecha del río Grijalva a 12 km. de la desembocadura del mismo.

Ver figura I.1.1

Algunos datos complementarios son:

- . Temperatura media anual varía de 24° a 28° C
- . Precipitación media anual varía de 2062 a 4380 m m.
- . Evaporación media anual varía de 1440 a 1840 m m.
- . Escurrimiento promedio 5 500 m<sup>3</sup>/seg.

### I.2 Aspectos socioeconómicos.

Se describirá la situación actual, del poblado de Frontera Tabasco, que consiste en la organización política, crecimiento de población, usos del suelo y servicios con que cuenta.

#### I.2.1 Diagnóstico y pronóstico

La ciudad de Frontera Tab., pertenece al municipio de Centla, teniendo una población total de 53 493 hab., de los cuales el 29.9% es decir, 16,000 hab. pertenecen a la cabecera municipal de Frontera, ( datos del año 1978 ). La proyección de crecimiento de población de Frontera, se presenta en la tabla

I.2.1 y fig. I.2.1

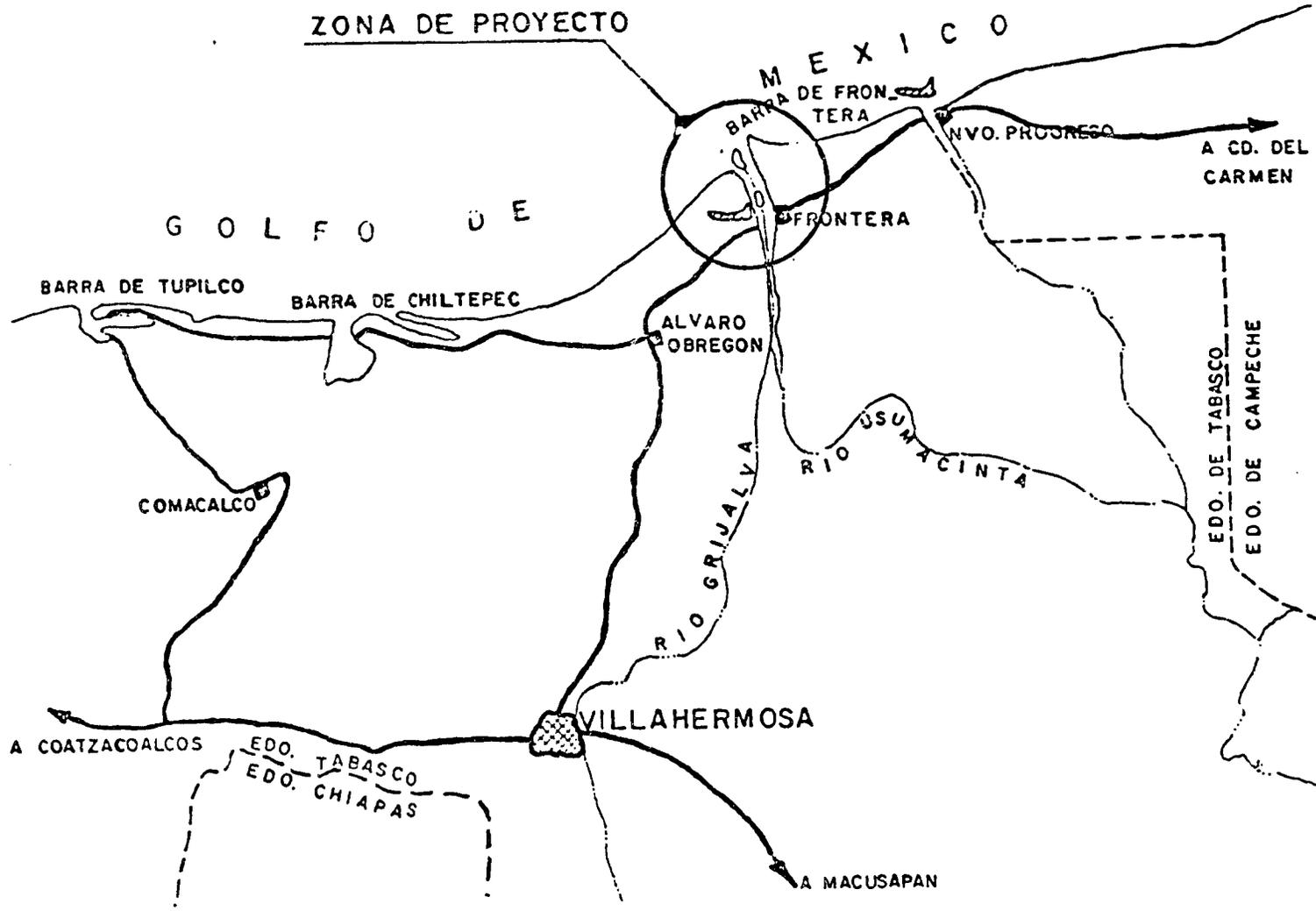


Fig. I.1.1 Croquis de localización

TABLA I.2.1 Proyección de Crecimiento de población en Frontera, Tab.

A Ñ O	No. DE HABITANTES
1978	16,000
1979	16,938
1980	17,931
1981	18,982
1982	20,094
1983	21,050*
1984	22,080*
1985	23,040*
1986	24,040*
1987	25,100*
1988	26,090*
1989	27,100*
1990	28,100*

\* Población proyectada

## I.2.1.1 Crecimiento :

La ciudad y puerto Frontera, se localiza en la margen derecha del río Grijalva y está comunicada con la capital del estado, por la carretera federal Villahermosa - Cd. del Carmen, a una distancia de 70 km.

Se ha observado que su crecimiento principal es hacia la parte Norte- Sur, paralelo al río Grijalva y además, presenta tendencia de crecimiento hacia el Este. Al Oeste, la ciudad tiene como límite natural, el río y al Norte una zona inundable.

La cabecera Municipal presenta una estructura vial definida de traza reticular. De continuar ésta tendencia se propiciará una adecuada integración de su infraestructura y una buena presentación de servicios públicos.

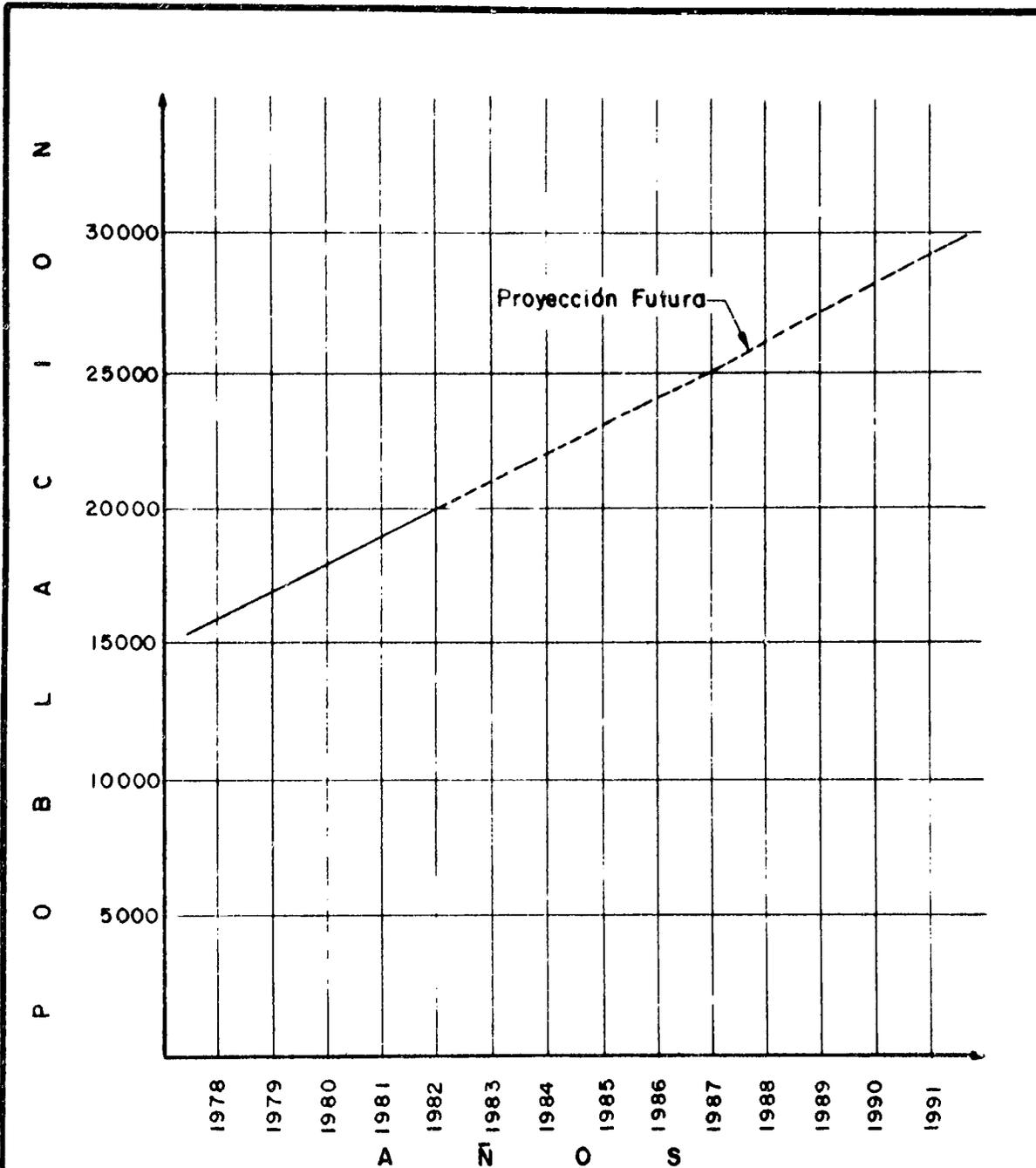


Fig.I.2.1 Proyección de Crecimiento de Población en Frontera, Tab.

Datos obtenidos de:

La Subsecretaría de Asentamientos Humanos  
 Dirección General de Centros de Población  
 Dirección General de Equipamiento y Vivienda  
 Año 1978

### I.2.1.2 Usos del suelo urbano

La ciudad de Frontera, en cuanto al uso del suelo, se caracteriza por 5 aspectos:

- 1o. El centro de la ciudad es ocupada por vivienda concentrada, comercios y el equipamiento principal. Con una densidad de población adecuada.
- 2o. En las áreas que rodean al centro de la ciudad, existe un alto porcentaje de suelo ocupado por vivienda dispersa que presenta una baja densidad de población.
- 3o. En la periferia de la ciudad se localizan grandes zonas con un alto porcentaje de lotes baldíos ociosos.
- 4o. Dentro de las áreas de baldíos ociosos, ubicadas en los extremos del Este y Oeste de la localidad, se encuentran grandes zonas de viviendas precarias.
- 5o. En los extremos Norte - Sur de la parte Oeste de la ciudad, se localizan pequeñas zonas industriales consistentes en; la del Norte, en un complejo pesquero y la del Sur en una fábrica del jabón y otra empacadora de productos pesqueros.

Es importante destacar que en la parte Oeste del centro de la ciudad, se encuentran las instalaciones portuarias, que son las siguientes:

- Muelles, los cuales son; muelle fiscal de cabotaje, muelle de Pémex, muelle pesquero, muelle Propémex, muelle armadores de Tabasco, entre otros.
- Dársena de maniobras, localizada frente al muelle fiscal
- Areas de almacenamiento, las cuales son: Pesquera Tabasqueña S.A., Mariscos de Tabasco S de RL de C.V., Sociedad Cooperativa de Productos Pesqueros Gregorio Méndez S C L , entre otros.

El puerto cuenta con obras de protección como; Escollera Este, localizada al noroeste de la desembocadura del río Grijalva, su estructura es de tablestaca metálica tipo Larssen III, formando cajones y en la corona, losa de concreto reforzado de 25 cm de espesor. Escollera Oeste, localizada en la margen izquierda de la desembocadura del río Grijalva, su estructura es de tablestaca metálica tipo Larssen III, losas de concreto y piedra de

protección de taludes (semidestruida). Cabe mencionar que las escolleras no son suficientes, para garantizar el autodragado del río, de ahí que se tiene que estar dragando constantemente el canal de acceso.

El señalamiento marítimo consiste en los siguiente:

- Faro, se localiza en la Barra del Puerto, teniendo un alcance geográfico de 16 millas, su estructura es de hierro pintada de blanco con una altura de 30 mts.
- 2 balizas de erfilación, se localizan en la Ranchería Carlos Roviroso, teniendo un alcance de 10 a 13 millas, su estructura es a base de torres metálicas de 9 mts. de altura.
- 7 balizas de situación que se localizan: 3 en la margen izquierda del río y 4 en la margen derecha.

Para la mejor comprensión de las instalaciones portuarias con que cuenta el Puerto de Frontera, Tab. se muestra la fig. I.2.2

#### 1.2.1.3 Infraestructura urbana

##### . Agua potable

Se estima que el 30% de la población total de ésta localidad cuenta con el vital líquido, el cual se extrae de una zona de puyones localizados al Este de la ciudad. Se cuenta con dos tanques de almacenamiento y otro en construcción.

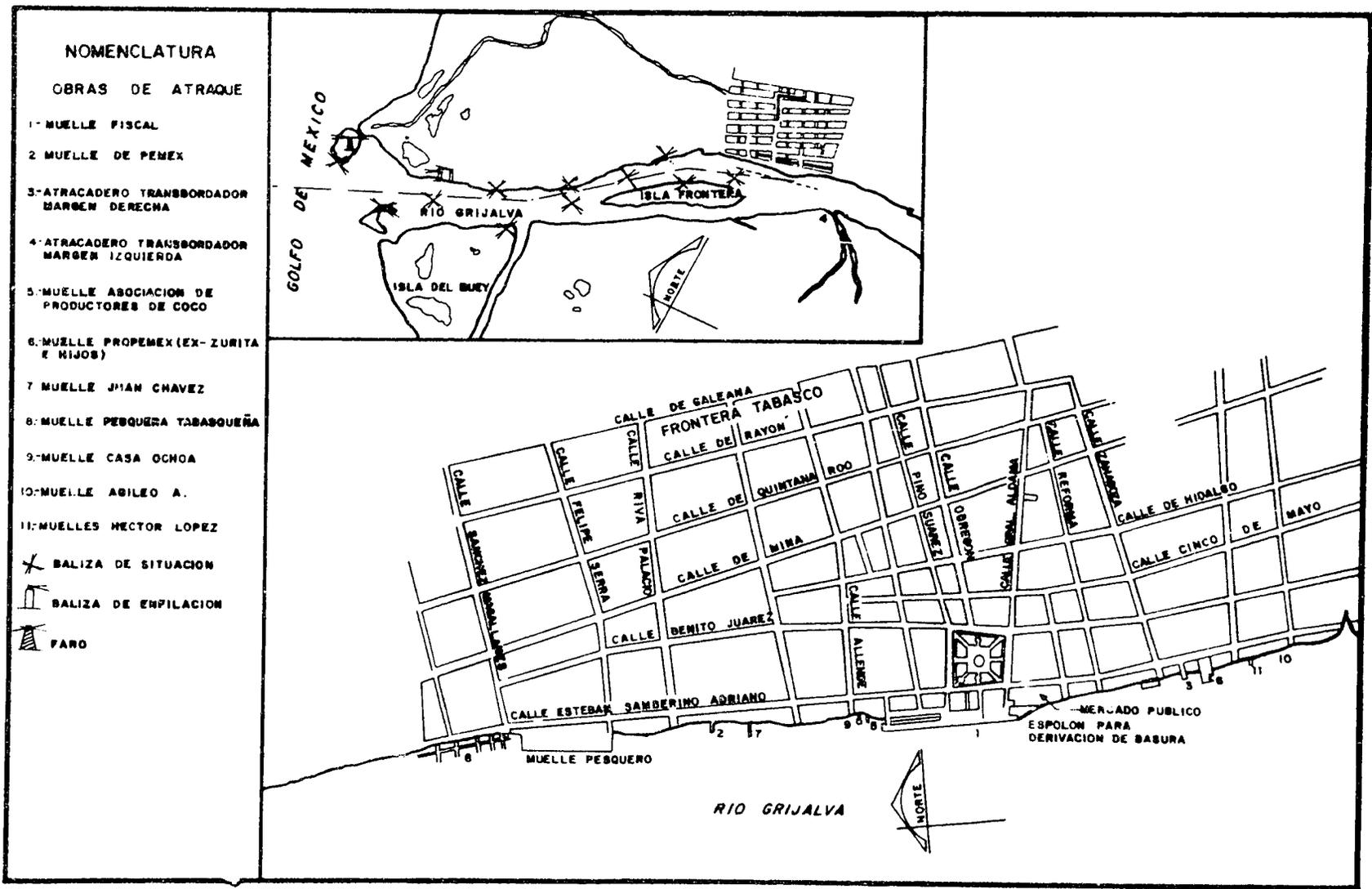


Fig. I.2.2 Instalaciones Portuarias del Puerto Frontera, Tab.

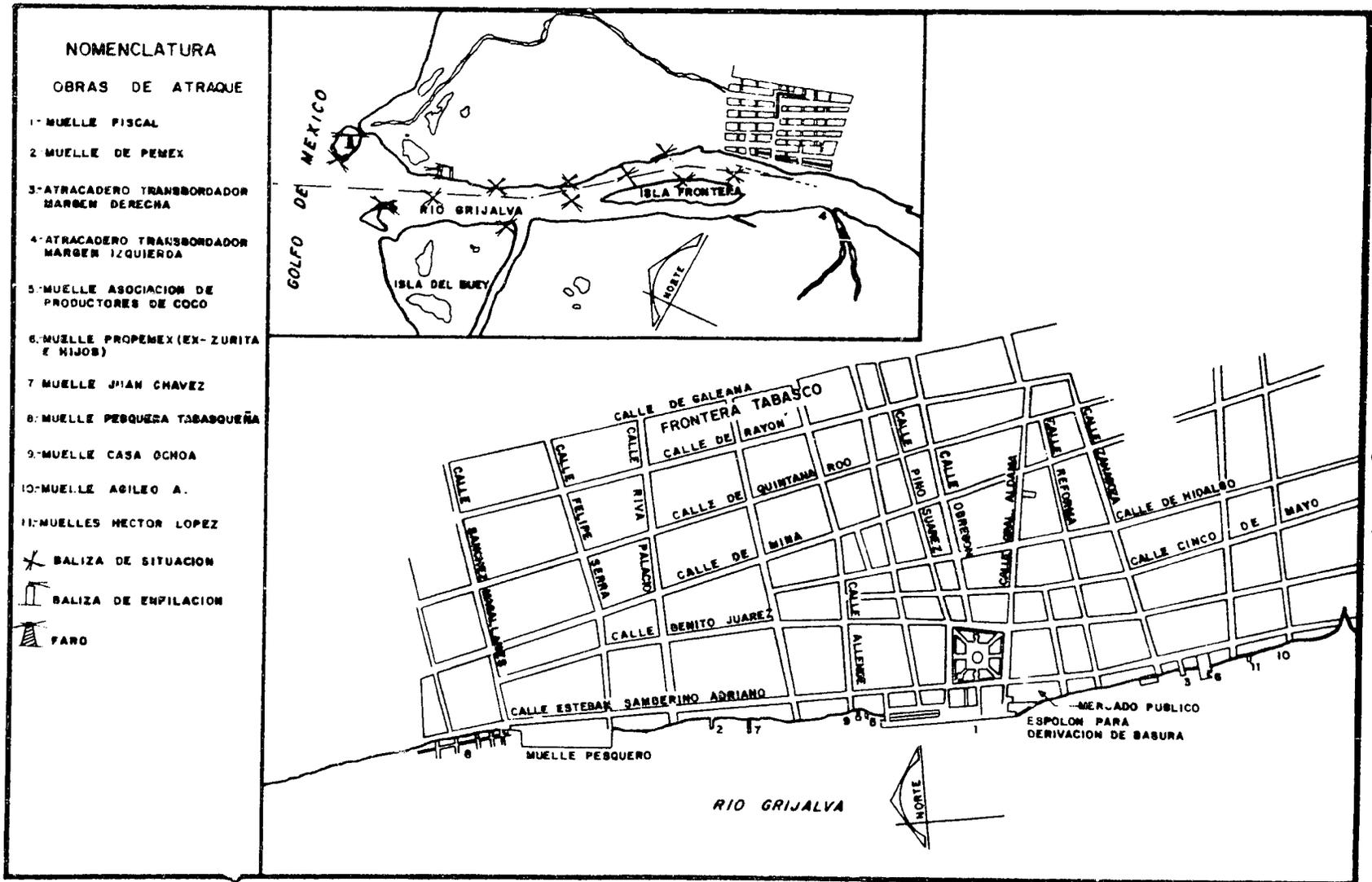


Fig.I.2.2 Instalaciones Portuarias del Puerto Frontera, Tab.

- Drenaje

Unicamente el 15% de la población asentada en esta ciudad, cuenta con el servicio de drenaje. Las aguas negras descargan a dos cárcamos de donde se desalojan al río Grijalva. El resto de la población sustituye este servicio con fosas sépticas.

- Energía eléctrica:

El 50% de la población cuenta con servicio de energía eléctrica. En cuanto al alumbrado público, el 45% de las calles se encuentran iluminadas.

- Vialidad y transporte:

La traza de la ciudad es reticular, el 10% de las calles se encuentran pavimentadas y el resto son de terracería en malas condiciones, sobre todo en épocas de lluvia.

El servicio de autotransporte Frontera - Villahermosa es insuficiente para las necesidades de la población, dado que únicamente existen dos corridas una en la mañana y otra en la tarde.

#### I.2.1.4 Vivienda.

El porcentaje de tierra en uso habitacional es mayor al promedio en este tipo de ciudades ya que algunos aspectos de uso comercial y de servicios se encuentran integrados a la vivienda.

Un porcentaje elevado de la vivienda en la Ciudad de Frontera es lineal, de tendencia privada, predomina la autoconstrucción y el autofinanciamiento. En cuanto a la técnica de construcción, se observa que un 60% aproximadamente utiliza procedimientos y materiales tradicionales y que de este porcentaje una de cuatro casas está en deterioro

#### I.2.1.5 Equipamiento Urbano

- Salud :

En esta localidad, el equipamiento existente para la salud, no satisfia

ce la demanda de la población, sobre todo a los de bajos ingresos.

. Educación:

En el nivel básico, cuenta con 6 escuelas primarias, con 48 aulas, que permiten atender a una población de 3,634 alumnos. En el nivel medio básico, la cabecera cuenta con 3 escuelas secundarias que atienden a 787 alumnos. Además, existen 3 escuelas de capacitación para el trabajo. En el nivel medio superior se cuenta con un colegio de Bachilleres. En términos generales se aprecia que el equipamiento para la educación satisface las necesidades de la población.

NOTA: En el subcapítulo I.2 Aspectos Socioeconómicos, todos los datos estadísticos y porcentajes fueron obtenidos de las estadísticas que manejaba la Subsecretaría de Asentamientos Humanos, Dirección General de centros de población, Dirección General de Equipamiento y Vivienda del año 1978.

I.3 Teoría sobre escolleras.

Las escolleras son obras marítimas de protección hacia el puerto, se caracterizan por ser obras exteriores, a través de las cuales se tiene una disipación del oleaje y a consecuencia, realizan una labor en el puerto. Están construídas con el fin de formar un puerto artificial que proporcione una dársena de maniobras, suficiente para llevar a cabo con seguridad las maniobras de las embarcaciones, durante la carga y descarga.

Ver fig. I.3.1

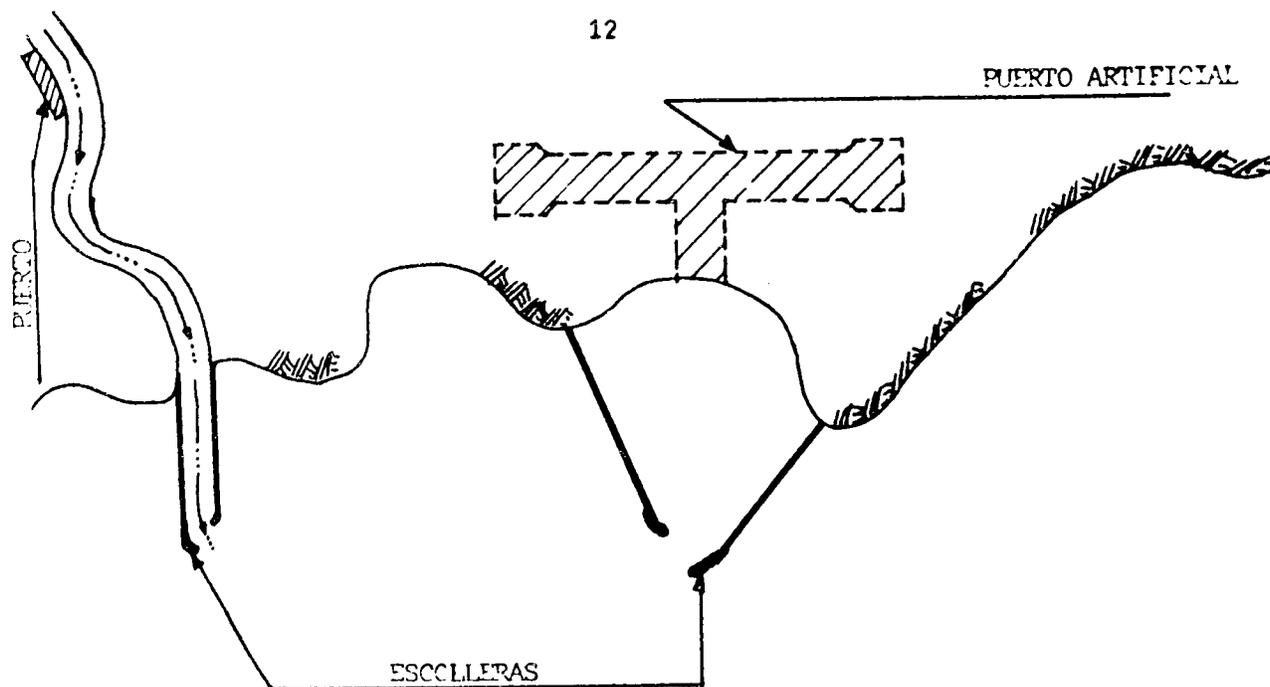


fig. I.3.1

En ocasiones las escolleras no forman en sí el puerto, si no que sólo proteje la entrada del mismo o, encausan los ríos hacia el fondo del mar, de manera que las embarcaciones, puedan sustraerse a los violentos embates de las tormentas durante su entrada o mientras esperan turno para entrar a diques.

Se han construido muchos tipos de escolleras en todo el mundo, pero un 95% de ellas han sido a base de roca natural, concreto o una combinación de roca y bloques o tetrápodos de concreto, o elementos semejantes; Los muros están hechos a base de bloques de concreto, gaviones de concreto, celdas de tablestaca o con paredes de tablestaca de concreto.

Puesto que el propósito principal de las escolleras, es proporcionar protección al puerto contra el oleaje y encausar los ríos hacia el fondo del mar en nuestro caso, otros factores importantes para el diseño de escolleras es la profundidad del agua y las características del fondo, así como también la acción de las olas sobre la estructura a construir. La mayoría de las escolleras son estructuras de gravedad, su estabilidad depende de su propio peso. Ver. figs. I.3.2, I.3.3, que son tipos de escolleras de uso más común.

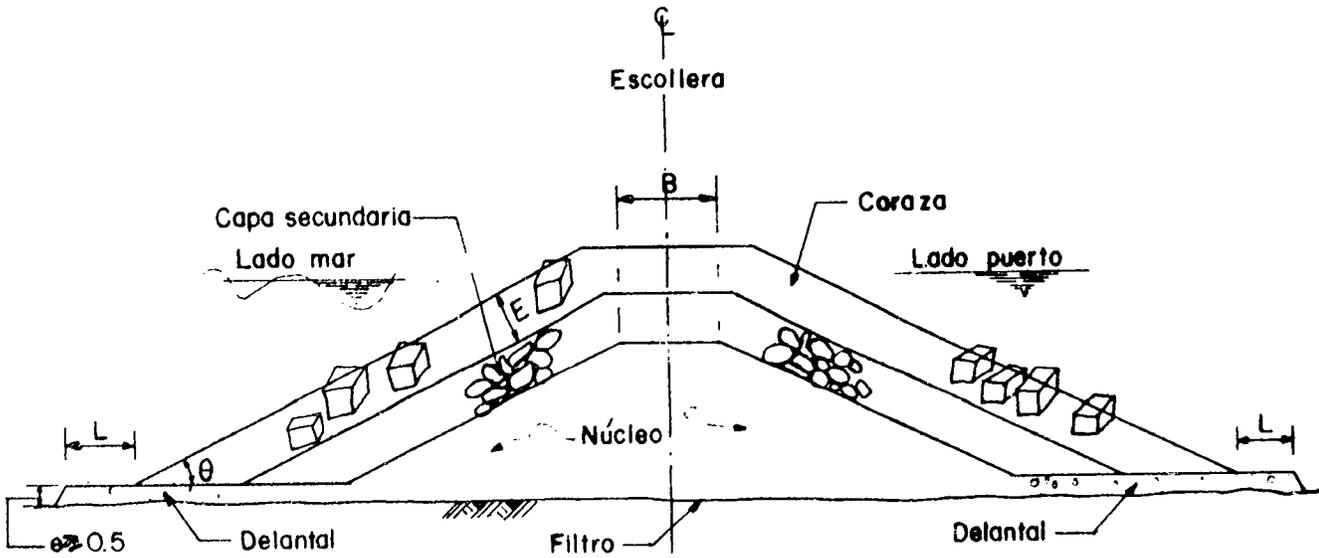


Fig. I.3.2 SECCION DE ESCOLLERA EN TRONCO

Siendo:

E = Espesor de la coraza

L = Longitud saliente del delantal

e = Espesor del delantal

B = Ancho de la corona del núcleo

θ = Angulo del talud de la estructura

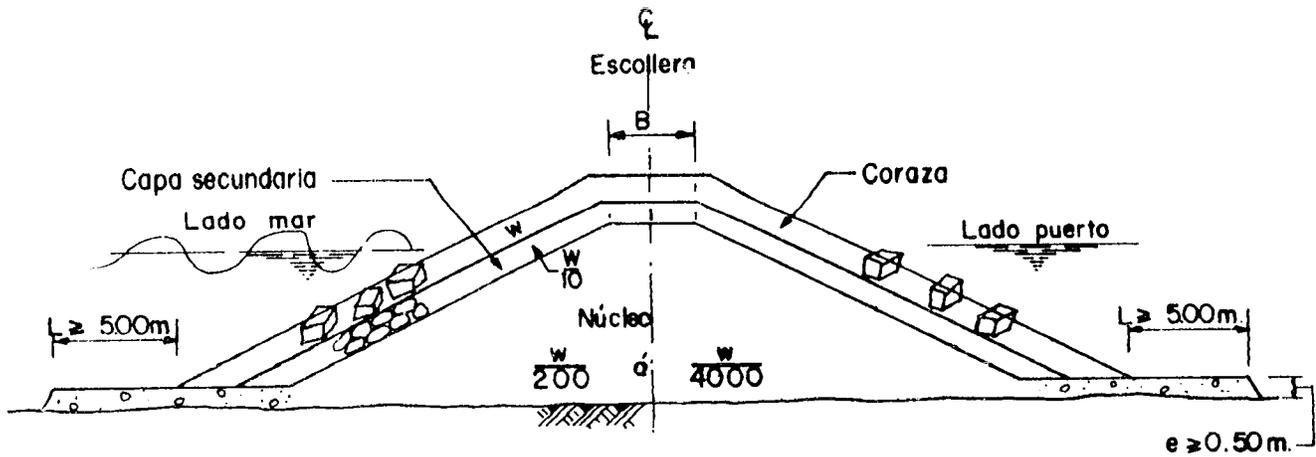


Fig. I.3.3 SECCION DE ESCOLLERA EN MORRO

Siendo:

W = Peso de la coraza en kgf.

## CAPITULO II. ESTUDIOS BASICOS DE LA ZONA

Consistirán en hacer un análisis de los fenómenos físicos como son; hidrológicos, meteorológicos y oceanográficos.

### II.1 Características generales del río Grijalva - Usumacinta

El río Grijalva - Usumacinta está constituido dentro de la región hidrológica No. 30, localizada en el Sureste de la República Mexicana, correspondiendo a la vertiente del Golfo de México.

Los ríos Grijalva - Usumacinta están adicionados con el río de Santa Ana Tabasco, hacia el poniente y el río Palizada Campeche, hacia el oriente, siendo estos últimos los mas importantes.

Las colindancias de la región hidrológica No. 30 son las siguientes:

- Al Sur con territorio Guatemalteco, con la región hidrológica No. 23 y una porción de la región hidrológica No. 22
- Hacia el Oeste limita con la región hidrológica No. 29, Coatzacoalcos y en parte aguas continentales.
- Al Norte con el Golfo de México y Laguna de Términos
- Al Este con la región hidrológica No. 31, Yucatán Oeste ( cuenca del río Champán ).

El área total de la región es aproximadamente de 128, 100 km<sup>2</sup> de los cuales 37,840 km<sup>2</sup> quedan dentro de Guatemala y el resto en México. Su desarrollo consta desde 14°32' a los 18°43' de latitud Norte y entre los 89°02' y los 94°19' de longitud Oeste.

El río Mexcalapa nace en Guatemala y en la sierra de los Chuchumatanes con el nombre de Chejel, con el cruza la línea divisoria entre Guatemala y México, sigue el centro de la región conocida con el nombre de Valle de Chiapa o Valle Central y se denomina río Grande desde las Palmas, Mexcalapa. Después se le denomina río Grijalva.

El alto Grijalva, desde su nacimiento, sigue una dirección general hacia el Noroeste y después de unírsele el río de La Venta en los poblados Malinalco y Raudales, donde se encuentra la Presa Netzahualcóyotl . Cambia de

dirección hacia el norte, hasta cerca de la población de Cd. Cárdenas Tab., de donde se dirige al Este pasando Villahermosa vuelve a modificar su curso hacia el Norte, conservándolo hasta su desembocadura en el Golfo de México cerca de Frontera Tab., después de unírsele al río Usumacinta.

El escurrimiento medio anual del río Grijalva, se ha estimado de 5 500 m<sup>3</sup> seg\*, por métodos analíticos, ya que no existe un dato verídico.

\* Dato obtenido de; Estudios de Estabilidad de la Boca de Frontera Tab., realizados por Sistemas Hidráulicos y Ambientales S.A. para la Dirección General de Obras Marítimas. S. C. T.

## II.2 Condiciones Meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas se refieren al estudio general del viento, principalmente a su velocidad y dirección.

El viento es el desplazamiento de una masa de aire, originado por la diferencia de temperaturas entre dos puntos, el viento soplará de una zona de alta presión, hacia una zona de baja presión, siendo posible hacer una configuración por medio de isobaras y ver claramente las altas y bajas presiones. Ver fig. II.2.1

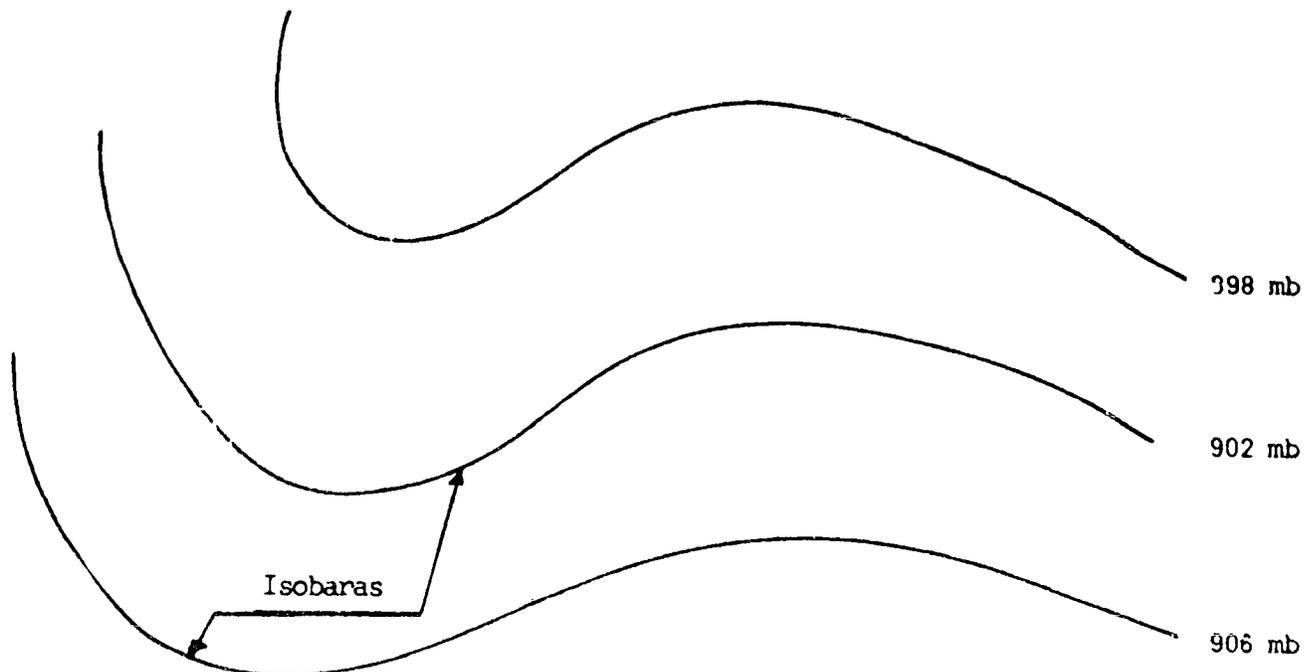


fig. II.2.1 Isobaras

El viento tiene dos componentes: vertical y horizontal, para nuestro caso la componente que nos interesa es la horizontal, ya que es ésta, la que genera el oleaje en los océanos. Para fines de diseño el viento se clasifica por viento reinante y viento dominante.

El viento reinante es el que se presenta con mayor frecuencia en una sola dirección pero en menor fuerza.

El viento dominante es el que se presenta esporádicamente pero con mayor fuerza, como es el de un ciclón, Norte etc.

Bajo estos parámetros se analizan las condiciones del viento en la zona de Frontera Tab., En Frontera no existe estación climatológica que registre directamente la velocidad y dirección del viento, se tomará la más cercana, siendo Coatzacoalcos Ver. Según datos del Meteorológico Nacional de la SARH, tenemos lo siguiente

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1975	N <sup>1.5</sup>	—	N <sup>2.7</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>2.8</sup>	N <sup>1.4</sup>	N <sup>2.8</sup>	N <sup>3.4</sup>	N <sup>2.0</sup>	N <sup>2.0</sup>	N <sup>3.1</sup>	N <sup>4.1</sup>	N <sup>2.7</sup>
1976	N <sup>4.2</sup>	N <sup>2.5</sup>	N <sup>2.4</sup>	N <sup>2.6</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>3.4</sup>	N <sup>4.4</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>4.1</sup>	NNW <sup>7.5</sup>	N <sup>3.9</sup>
1977	N <sup>3.2</sup>	N <sup>4.5</sup>	N <sup>4.1</sup>	N <sup>4.0</sup>	NE <sup>3.9</sup>	NE <sup>3.8</sup>	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.7</sup>	N <sup>3.3</sup>	N <sup>3.7</sup>	—	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.8</sup>
1978	N <sup>4.6</sup>	N <sup>4.0</sup>	N <sup>4.8</sup>	N <sup>3.5</sup>	N <sup>4.1</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>3.9</sup>	NE <sup>3.9</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>4.0</sup>
1979	NNW <sup>6.5</sup>	N <sup>3.3</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>3.9</sup>	NE <sup>3.1</sup>	N <sup>3.5</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>3.7</sup>	N <sup>4.4</sup>	N <sup>3.5</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>4.6</sup>	N <sup>3.9</sup>
1980	N <sup>3.7</sup>	NNW <sup>3.9</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>4.0</sup>	N <sup>4.0</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>3.2</sup>	N <sup>3.1</sup>	N <sup>4.2</sup>	N <sup>4.5</sup>	N <sup>3.0</sup>	N <sup>3.8</sup>
1981	N <sup>4.5</sup>	N <sup>5.1</sup>	N <sup>4.1</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>4.4</sup>	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>4.1</sup>	N <sup>4.0</sup>	N <sup>4.1</sup>
1982	N <sup>4.2</sup>	N <sup>4.2</sup>	N <sup>4.2</sup>	N <sup>3.7</sup>	—	N <sup>3.1</sup>	N <sup>3.1</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>3.5</sup>	N <sup>3.0</sup>	N <sup>4.8</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>3.7</sup>
1983	N <sup>3.1</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>3.4</sup>	—	—	N <sup>3.2</sup>	N <sup>3.2</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>2.8</sup>	N <sup>3.7</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.3</sup>
1984	N <sup>3.1</sup>	N <sup>3.4</sup>	N <sup>3.1</sup>	N <sup>3.2</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>3.2</sup>	N <sup>3.3</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>3.4</sup>	N <sup>3.0</sup>	N <sup>3.4</sup>	N <sup>3.9</sup>	N <sup>3.3</sup>
1985	N <sup>3.8</sup>	N <sup>4.3</sup>	N <sup>4.1</sup>	N <sup>4.6</sup>	N <sup>3.8</sup>	N <sup>3.7</sup>	N <sup>3.6</sup>	N <sup>3.7</sup>	N <sup>2.9</sup>	N <sup>3.4</sup>	N <sup>3.5</sup>	NNW <sup>2.9</sup>	N <sup>3.7</sup>

Tabla II.2.2 Viento reinante, dirección y velocidad

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Viento más Desfavorable
1975	NNW <sup>3.2</sup>	—	NW <sup>12.0</sup>	NW <sup>10.0</sup>	NW <sup>8.0</sup>	N <sup>2.1</sup>	N <sup>5.0</sup>	N <sup>9.0</sup>	N <sup>6.2</sup>	NNW <sup>2.0</sup>	NNW <sup>22.8</sup>	NW <sup>17.9</sup>	NNW <sup>22.8</sup>
1976	NW <sup>24.5</sup>	NW <sup>40.3</sup>	N <sup>30.6</sup>	NNW <sup>34.7</sup>	NNW <sup>9.2</sup>	NE <sup>9.2</sup>	N <sup>6.6</sup>	N <sup>7.7</sup>	NNW <sup>8.7</sup>	NW <sup>14.3</sup>	NNW <sup>12.8</sup>	NNW <sup>15.3</sup>	NW <sup>40.3</sup>
1977	NNW <sup>3.1</sup>	N <sup>17.3</sup>	NNW <sup>18.9</sup>	NNW <sup>16.3</sup>	N <sup>10.2</sup>	E <sup>17.3</sup>	E <sup>16.3</sup>	E <sup>16.7</sup>	SW <sup>13.3</sup>	N <sup>20.4</sup>	NNW <sup>23.5</sup>	N <sup>21.4</sup>	NNW <sup>23.5</sup>
1978	NW <sup>21.4</sup>	NNW <sup>19.4</sup>	NNW <sup>23.5</sup>	NNW <sup>18.4</sup>	SSW <sup>13.3</sup>	S <sup>12.8</sup>	E <sup>13.8</sup>	SE <sup>14.3</sup>	E <sup>16.3</sup>	N <sup>21.4</sup>	N <sup>14.3</sup>	N <sup>24.0</sup>	N <sup>24.0</sup>
1979	NN <sup>24.5</sup>	NW <sup>22.4</sup>	NN <sup>19.4</sup>	N-SW <sup>12.8</sup>	N <sup>17.3</sup>	NW <sup>15.8</sup>	E <sup>18.9</sup>	S <sup>12.2</sup>	NW <sup>25.5</sup>	NNW <sup>17.3</sup>	N <sup>19.4</sup>	NNW <sup>20.4</sup>	NW <sup>25.5</sup>
1980	NW <sup>20.9</sup>	NNW <sup>22.4</sup>	NNW <sup>22.9</sup>	NNW <sup>16.3</sup>	NNW <sup>14.3</sup>	NE <sup>12.2</sup>	N <sup>11.7</sup>	S <sup>13.8</sup>	SW <sup>18.9</sup>	N <sup>22.4</sup>	N <sup>20.4</sup>	NNW <sup>20.4</sup>	NNW <sup>22.9</sup>
1981	N <sup>16.3</sup>	N <sup>23.0</sup>	S <sup>16.8</sup>	NW <sup>15.3</sup>	N <sup>7.9</sup>	NW <sup>11.9</sup>	NW <sup>13.3</sup>	E <sup>12.8</sup>	NW <sup>19.9</sup>	NNW <sup>14.3</sup>	NNW <sup>20.9</sup>	NNW <sup>19.4</sup>	N <sup>23.0</sup>
1982	N <sup>19.4</sup>	NW <sup>14.8</sup>	N <sup>18.4</sup>	NW <sup>15.8</sup>	—	ENE <sup>16.3</sup>	NE <sup>14.3</sup>	NESSE <sup>10.2</sup>	N <sup>11.7</sup>	N <sup>14.3</sup>	N <sup>23.5</sup>	NNW <sup>17.9</sup>	N <sup>23.5</sup>
1983	N <sup>13.3</sup>	N <sup>18.0</sup>	NNW <sup>13.8</sup>	—	—	N <sup>13.8</sup>	NyNE <sup>9.7</sup>	E <sup>13.3</sup>	NNW <sup>12.8</sup>	NNW <sup>15.3</sup>	N <sup>12.8</sup>	N <sup>20.4</sup>	N <sup>20.4</sup>
1984	NNW <sup>18.4</sup>	N <sup>18.4</sup>	NNW <sup>16.9</sup>	N <sup>12.2</sup>	N <sup>20.9</sup>	NE <sup>13.3</sup>	NE <sup>12.2</sup>	N <sup>9.2</sup>	N <sup>17.4</sup>	N <sup>10.1</sup>	NW <sup>23.5</sup>	NNW <sup>23.2</sup>	NW <sup>23.5</sup>
1985	NNW <sup>24.1</sup>	NNW <sup>20.2</sup>	NNW <sup>18.1</sup>	NNW <sup>16.2</sup>	NNW <sup>19.0</sup>	NNW <sup>12.9</sup>	NNW <sup>15.1</sup>	SSE <sup>21.7</sup>	N <sup>14.5</sup>	NNW <sup>17.4</sup>	NNW <sup>15.7</sup>	N <sup>21.8</sup>	NNW <sup>24.1</sup>
Viento más Desfavorable	NW <sup>25.5</sup>	NW <sup>40.3</sup>	N <sup>30.6</sup>	NNW <sup>34.7</sup>	N <sup>20.9</sup>	E <sup>17.3</sup>	E <sup>18.9</sup>	SSE <sup>21.7</sup>	NW <sup>25.5</sup>	N <sup>22.4</sup>	N <sup>23.5</sup>	N <sup>24.0</sup>	N <sup>30.6</sup>
													NNW <sup>24.1</sup>
													N <sup>30.6</sup>

Tabla II.2.3 Viento dominante, dirección y velocidad

## NOTAS:

NW<sup>22.4</sup>

NW = dirección

22.4 velocidad en m/seg.

De acuerdo a estos datos estadísticos de las tablas II.2.2 y II.2.3 , podemos obtener el resultado mayor para fines de diseño

∴ Viento reinante:

Dirección = Norte ( N )

Velocidad = 4.1 m/seg.

Viento Dominante:  
 Dirección Norte ( N )  
 Velocidad 30.6 m/seg.

Para fines de cálculo se tomará el mas desfavorable, que es el viento domi  
nante.

Otra forma de analizar el viento es por medio de las cartas sinópticas del tiempo. Que consiste en lo siguiente:

Fetch;

El área de generación, se obtiene con ayuda de los mapas de superficie, en los cuales se representan las isóbaras y la atmósfera, que permite ob  
servar la posición y desarrollo de los fenómenos meteorológicos que ocurren en una determinada zona. La zona de generación está acotada por una variable llamada fetch, el cual se define como una longitud donde so  
pla el viento, en dirección hacia el lugar de estudio.

A partir de las isóbaras y tomando en cuenta su curvatura se puede delimitar la zona de generación: para ésto hay que considerar que el viento real forma un ángulo de 10 a 15° con la dirección del viento; estimada en los mapas de superficie. Por otra parte se ha observado que las olas se mueven en ángulos de 15 a 45° con respecto a la dirección de las isóbaras, dependiendo de la curvatura de éstas.

Por lo anterior las ondas pueden desplazarse hacia ambos lados de las isóbaras a 30° si las isóbaras son rectas, y 45° si son curvas, esto se toma en cuenta para delimitar la zona de generación, Bajo estas características se obtendrá la longitud del fetch ( zona de generación ) y longitud de decaimiento de la zona de Frontera Tab., a partir del ciclón que se presentó el 8 de septiembre de 1961, tomándose el registro a las 6.00 hrs. Obtenido del plano de isobaras del ciclón Carla , ya que es de los más significativos.

Ver fig. II.2.4 y fig. II.2.5

Velocidad del viento.

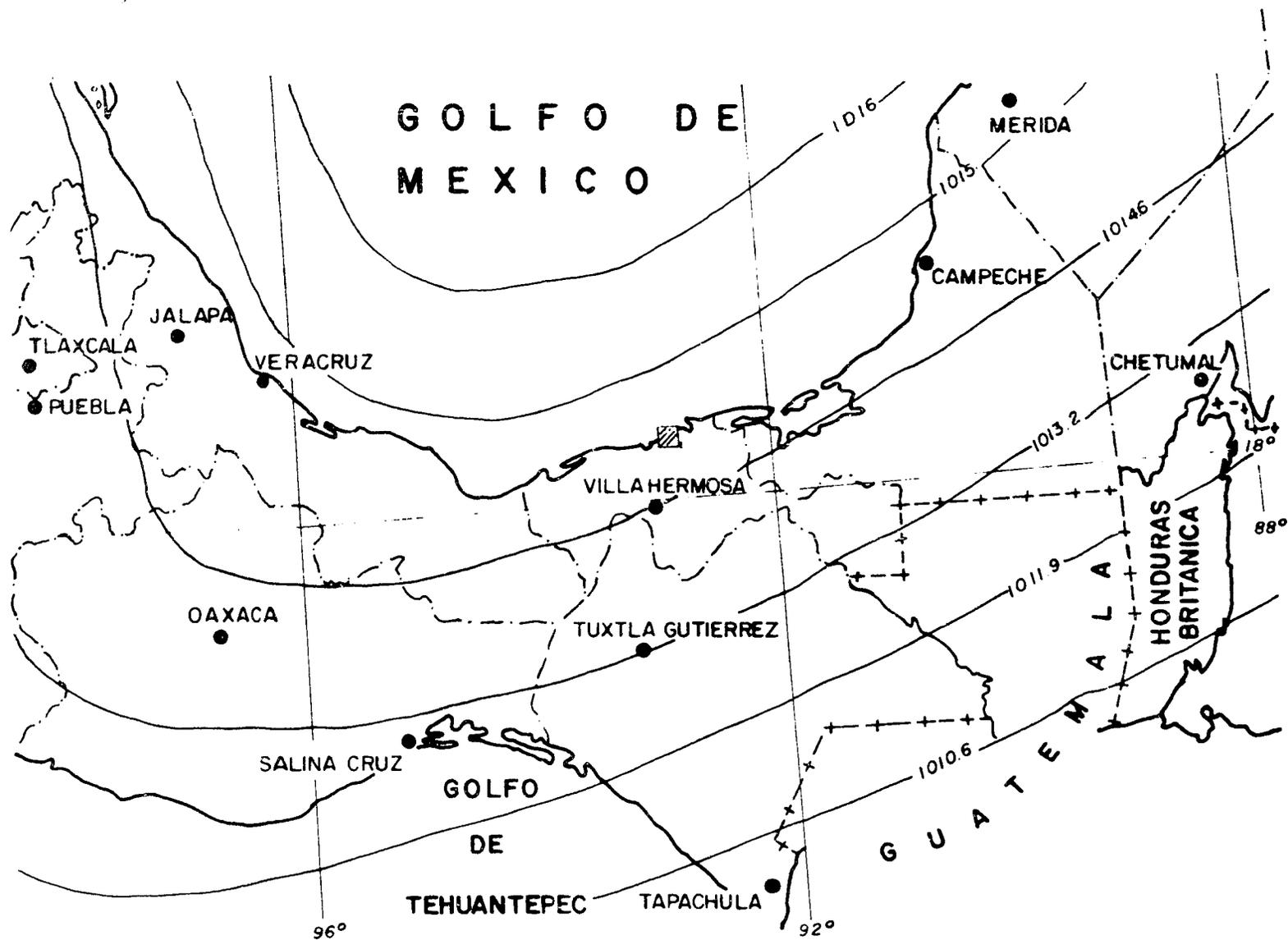
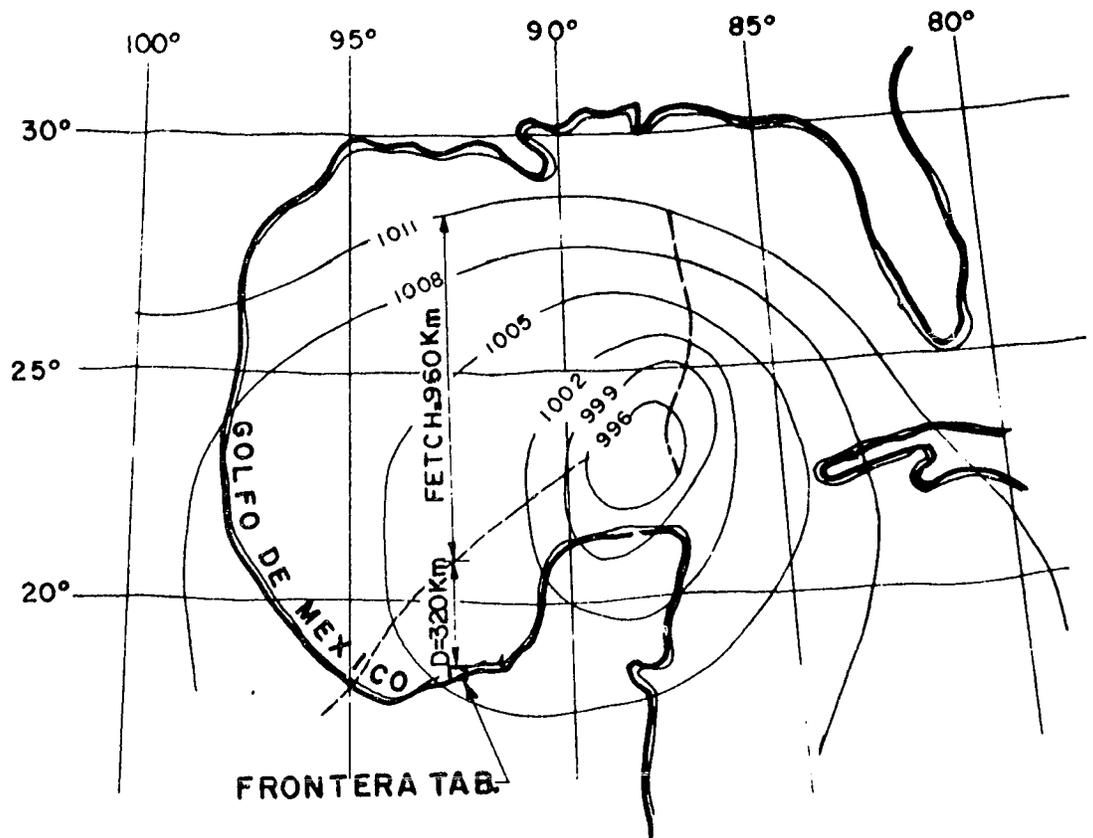


fig.II.2.4  
 Presentación del viento en condiciones normales



ESC: 1:20000  
en Km.

Fig.II.2.5 Isobaras del ciclón Carla

Ciclón que se presentó el 8 de septiembre de 1961, tomando el registro a las 6.00 horas., obtenido del plano de isobaras del ciclón Carla.

La velocidad del viento que actúa sobre la superficie del mar, se llama velocidad del viento real o formativo, si las isóbaras son rectas y la fuerza de fricción no es importante, el viento que cumple con estas condiciones se le llama geostrófico. El equilibrio en las fuerzas se establece únicamente entre la presión y coriolis, el resultado que se obtiene de ello es la velocidad del viento geostrófico, la cual está definida por la expresión:

$$V_g = \frac{1}{2 \rho_a w \text{ sen. } \emptyset} \frac{\Delta P}{\Delta n} \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

$V_g$  = Velocidad del viento geostrófico, en m/seg.

$\Delta P / \Delta n$  = gradiente de presiones adimensional

\*  $\rho_a$  = Densidad del aire =  $1.20 \times 10^{-3}$  g. masa/cm<sup>3</sup>

\*  $w$  = Velocidad angular de la tierra =  $0.727 \times 10^{-4}$  rad./seg.

$\emptyset$  = Latitud que corresponde al centro de gravedad de la zona de generación, en grados.

\* Datos obtenidos, del curso de obras marítimas impartido en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

La solución de la ecuación 1, es para valores de  $\Delta p$  entre 3 y 5 milibares, es la disminución o aumento entre isobaras que generalmente aparecen en los mapas de superficie, como se muestra en la fig. II.2.6

Para utilizar la tabla se hace mediante el siguiente procedimiento:

- 1o.- Conociendo el centro de gravedad de la zona de Frontera Tab. tanto en latitud y longitud (  $18^{\circ}33'15''$  latitud Norte y  $92^{\circ}40'05''$  longitud Oeste).
- 2o.- Se calcula el valor de  $\Delta n$ , para ello se escogen las isobaras adyacentes al centro de gravedad y se mide la distancia que las separa y se expresa en grados de latitud. El valor de  $\Delta p$  entre esas isobaras conviene que sea de 3.4 a 5.00 milibares.
- 3o.- Con el valor calculado en el 2o. paso y la latitud del centro de gravedad de la zona de generación se obtiene el valor de  $V_g$  con ayuda de la tabla II.2.6.

$$\Delta n = 4.0^{\circ} \text{ según fig. II.2.6}$$

$$\Delta p = 4.00 \text{ milibares}$$

$$\rho_a = 1.2 \times 10^{-3} \text{ g. masa / cm}^3 \times \frac{(100\text{cm})^3}{1} = 1200.00 \text{ g masa/ m}^3$$

$$w = 0.727 \times 10^{-4} \text{ rad/seg.}$$

$$\theta = 18^{\circ}33'15'' \text{ latitud Norte ( Ver pag. 3 )}$$

Con el valor de  $\theta$  que se aproxima a  $19^{\circ}$  se entra a la fig. II.2.6 con sus datos complementarios y se obtiene  $V_g$ .

$$V_g = 21 \text{ m/seg.}$$

o si se sustituyen valores de la ec. (1) tenemos:

$$V_g = \frac{1}{2 \times 1200 \times 0.727 \times 10^{-4} \text{ sen.} 18^{\circ}33'15''} \frac{4}{4} = 18.22 \approx 21 \text{ m/seg.}$$

$$V_g = \frac{1}{2 \rho_0 \omega \sin \phi} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

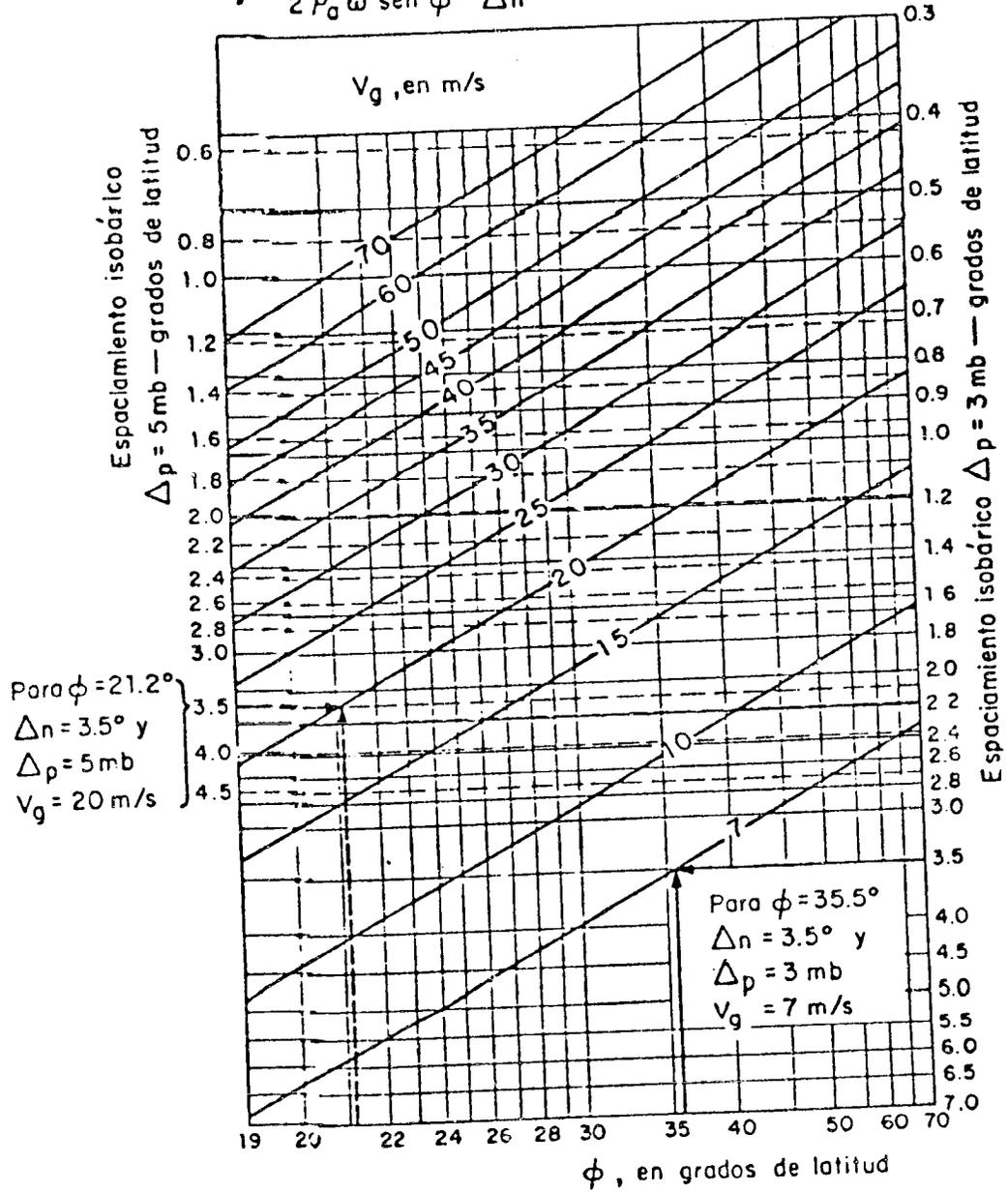


Fig.II.2.6, Velocidad del viento geostrofico

. . La velocidad real se obtendrá de la siguiente forma:

$$U = KVg, \text{ donde } K = 0.9 \text{ por efecto de ciclones.}$$

. .  $U = 0.9 \times 21 = 18.90 \text{ m/seg.}$

Comparando la velocidad calculada por medio de gráficas y la velocidad obtenida por registros estadísticos, resulta mayor la segunda la cual se tomará para cálculos posteriores.

. .  $U = 30.6 \text{ m/seg.}$

Dirección Norte

### II.3 Condiciones Oceanográficas.

Las condiciones oceanográficas se refieren al estudio del oleaje. El oleaje es una forma de energía que se propaga por la superficie oceánica provocada por varios factores, principalmente por el viento en su componente horizontal.

Los métodos de predicción del oleaje permiten obtener la altura y período, a partir de las características del viento que logeraran. El oleaje pasa por dos zonas; una llamada zona de generación, la cual está acotada por el fetch y la otra zona denominada de decaimiento, que está limitada entre la terminación del fetch y el límite de la zona de aguas profundas frente al sitio en estudio. A continuación se describirán los métodos que se recomiendan para calcular las características del oleaje en la zona de Frontera Tab .

1.- Fórmulas empíricas, relacionan directamente la altura y período de ola, con la velocidad del viento y/o la longitud del fetch; estos métodos son poco confiables .

2.- Ola significativa, relaciona la altura de la ola significativa ( $H^{1/3}$ ) y el período significativa ( $T^{1/3}$ ), con la velocidad y duración del viento; y la longitud del fetch. Este es el método más utilizado en problemas de ingeniería.

Para nuestro caso, se obtendrá la altura y período de ola significativa, ya que para el diseño de escolleras se recomienda utilizar la  $(H^1/3)$ , y para determinarla se utilizará el método de Pierson - Neumann - James (PNJ).

Este método utiliza el concepto de espectro, que se define como una relación de la distribución de energía de las ondas con respecto a sus frecuencias. El área E bajo la curva del espectro es función de la energía desarrollada por el oleaje, y como ésta se puede expresar en función de la altura del oleaje al cuadrado, se llega a relacionar la altura del oleaje con la  $\sqrt{E}$ . A partir del espectro se calcula el espectro coacumulativo del oleaje, que es la gráfica que se obtiene al dibujar la  $E_i$  parciales contra la frecuencia, la cual permite relacionar, para una frecuencia, conocida la altura de ola. Pierson, Neumann y James obtuvieron un espectro y su espectro coacumulativo del oleaje generado por vientos con velocidad constante  $U$ , tomando en cuenta además el fetch en que ese viento actuaba y su dirección, para el presente caso, se aplicará el mismo método, pero para esto es necesario apoyarse en las fig. II.3.1 y fig. II.3.2. Para obtener las características del oleaje en la ZONA DE GENERACION, se hace mediante los siguientes pasos:

- 1° Se utilizan como datos conocidos el fetch ( $F$ ), duración ( $t$ ),  $t$  es propuesto y la velocidad del viento  $U$ .
- 2° Con  $U$  y  $F$  se entra a la gráfica de la fig. II.3.1b y se obtiene el cruce de  $U$  y  $F$ , lo que permite obtener  $E$  en el eje de las ordenadas.
- 3° Se procede de igual forma para  $U$  y  $t$ ., utilizando las fig. II.3.2b con lo que se obtiene otro valor de  $E$ .
- 4° Se escoge el menor valor de  $E$ . si fue obtenido en el segundo paso, el oleaje está limitado por fetch; en cambio si fue el obtenido en el tercer paso, el oleaje está limitado por duración.
- 5° A partir del menor  $E$  seleccionado, se obtienen algunas alturas representativas como las siguientes:

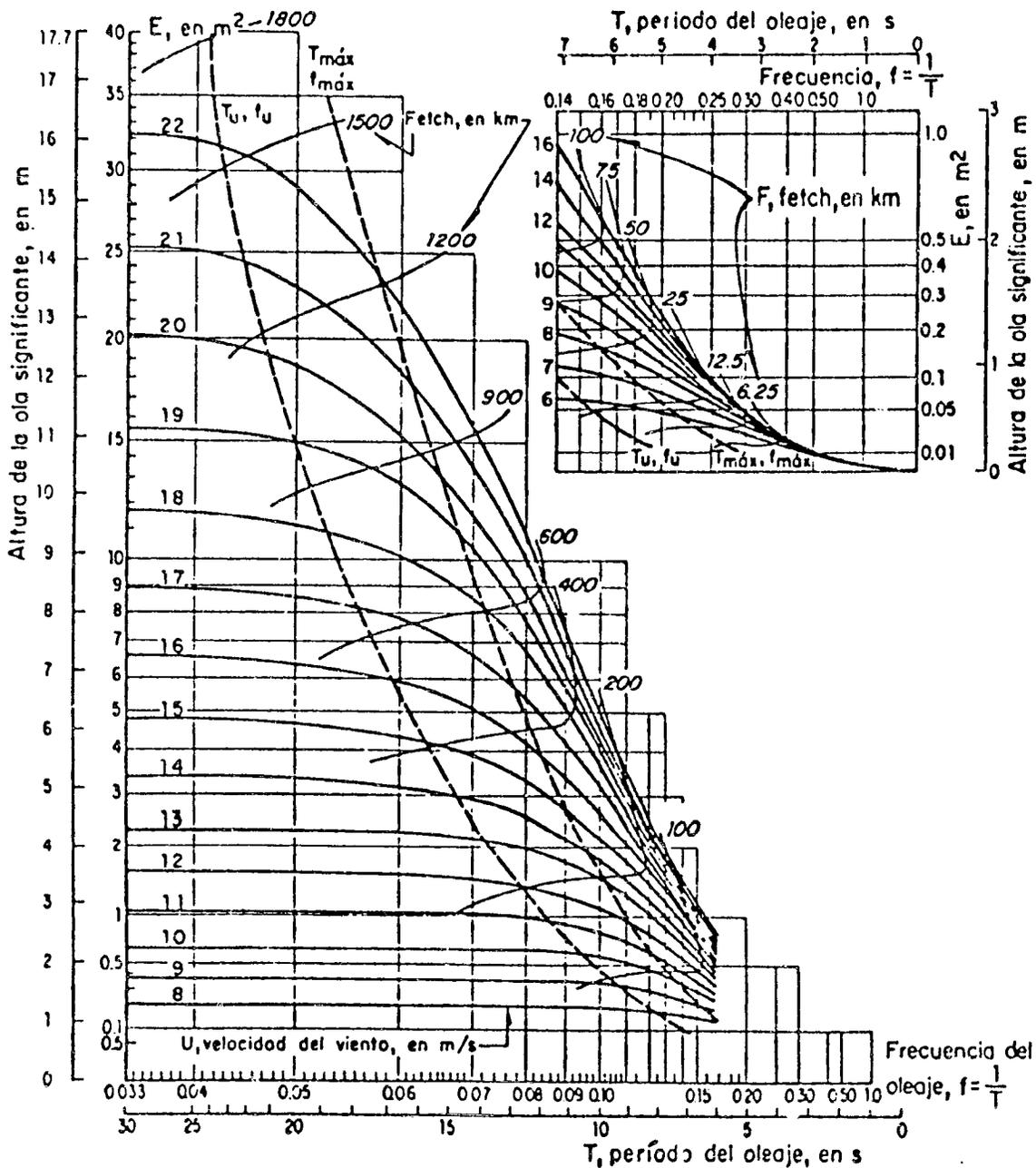


fig.II.3.1a Espectro coacumulativo distorsionado para velocidades del viento entre 8 y 22 m/s en función del fetch

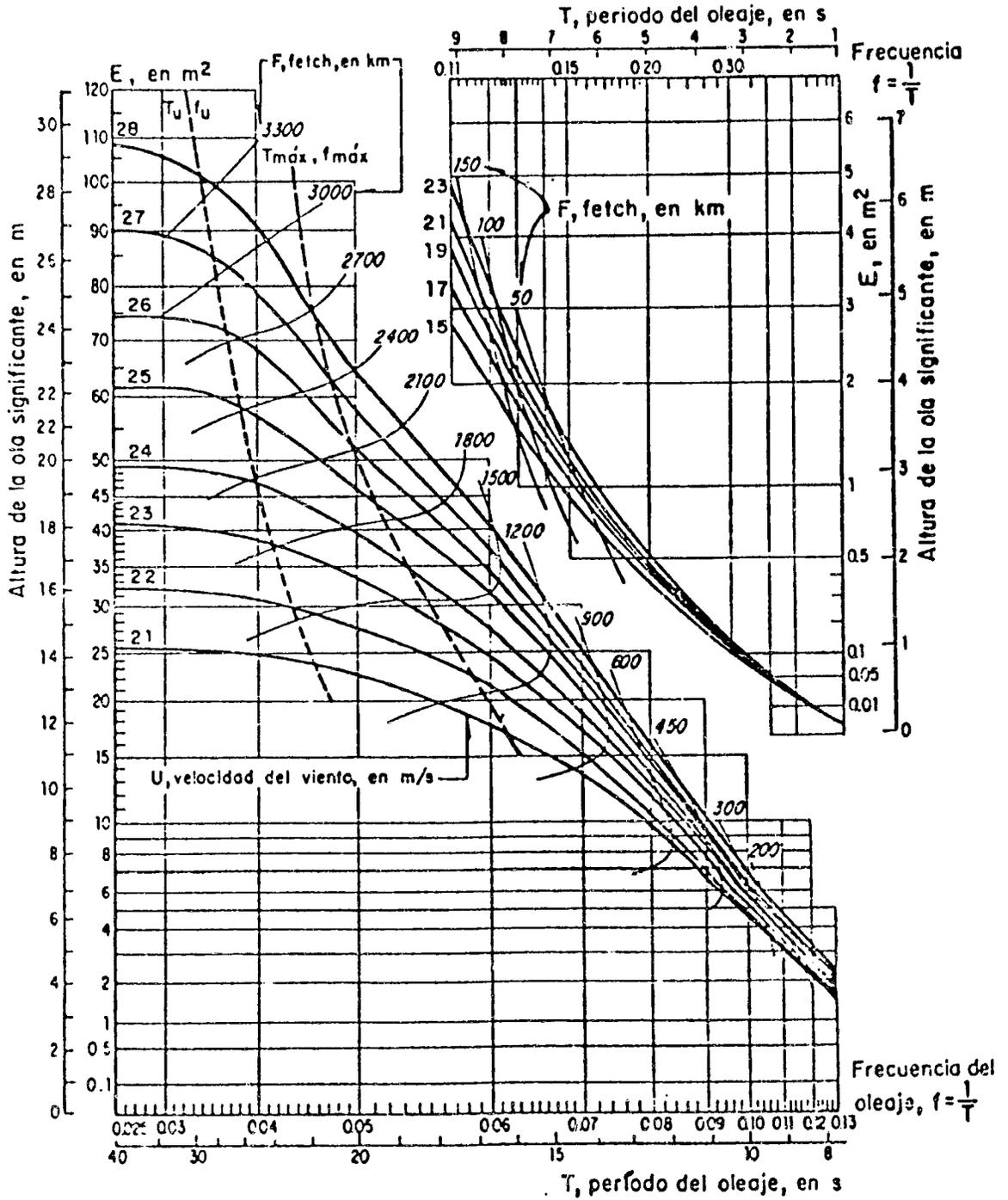


fig.II.3.1b Espectro coacumulativo distorsionado para velocidades del viento entre 21 y 28 m/s en función del fetch

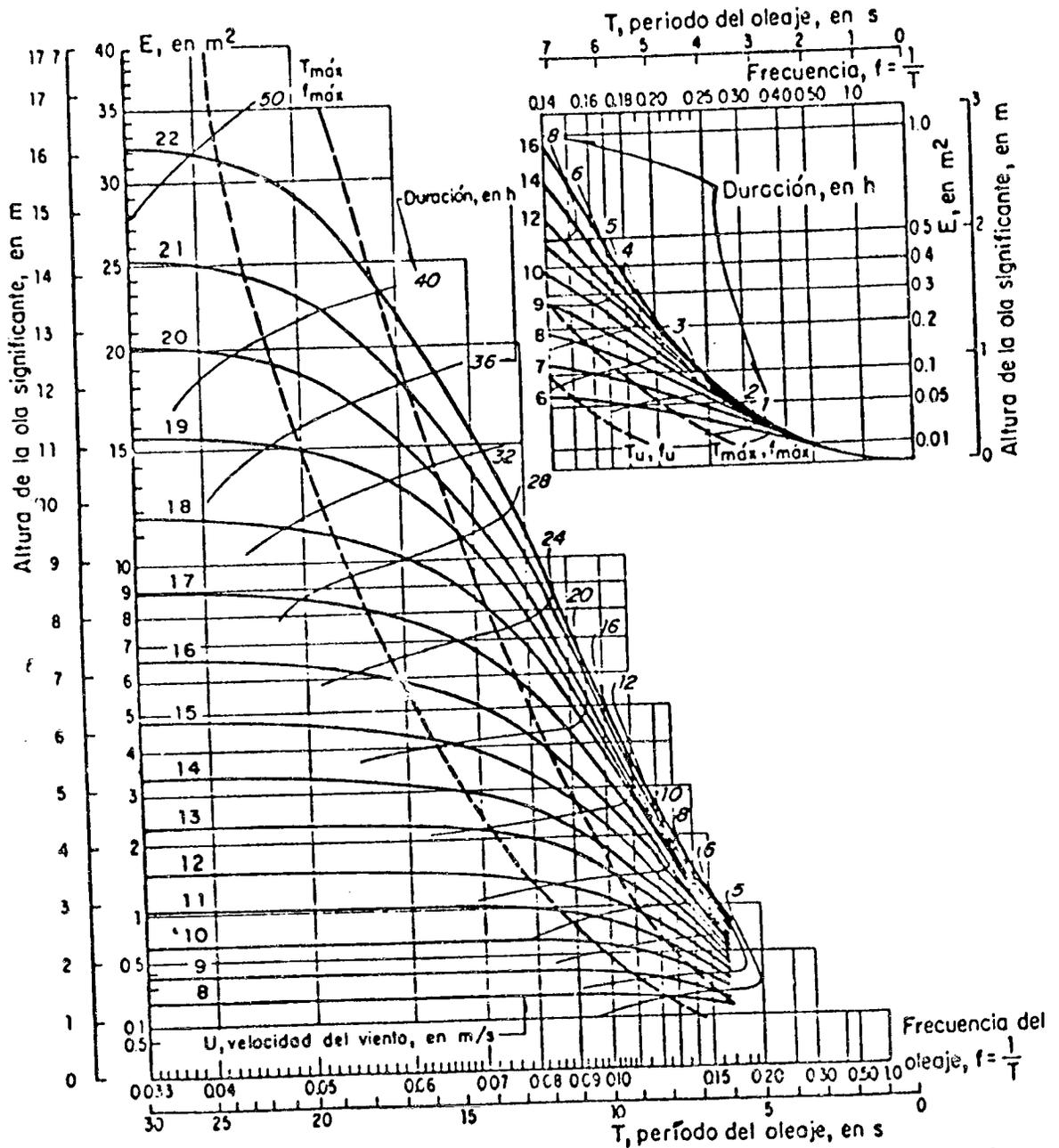


fig.II.3.2a Espectro coacumulativo distorsionado para velocidades del viento entre 8 y 22 m/s en función de la duración

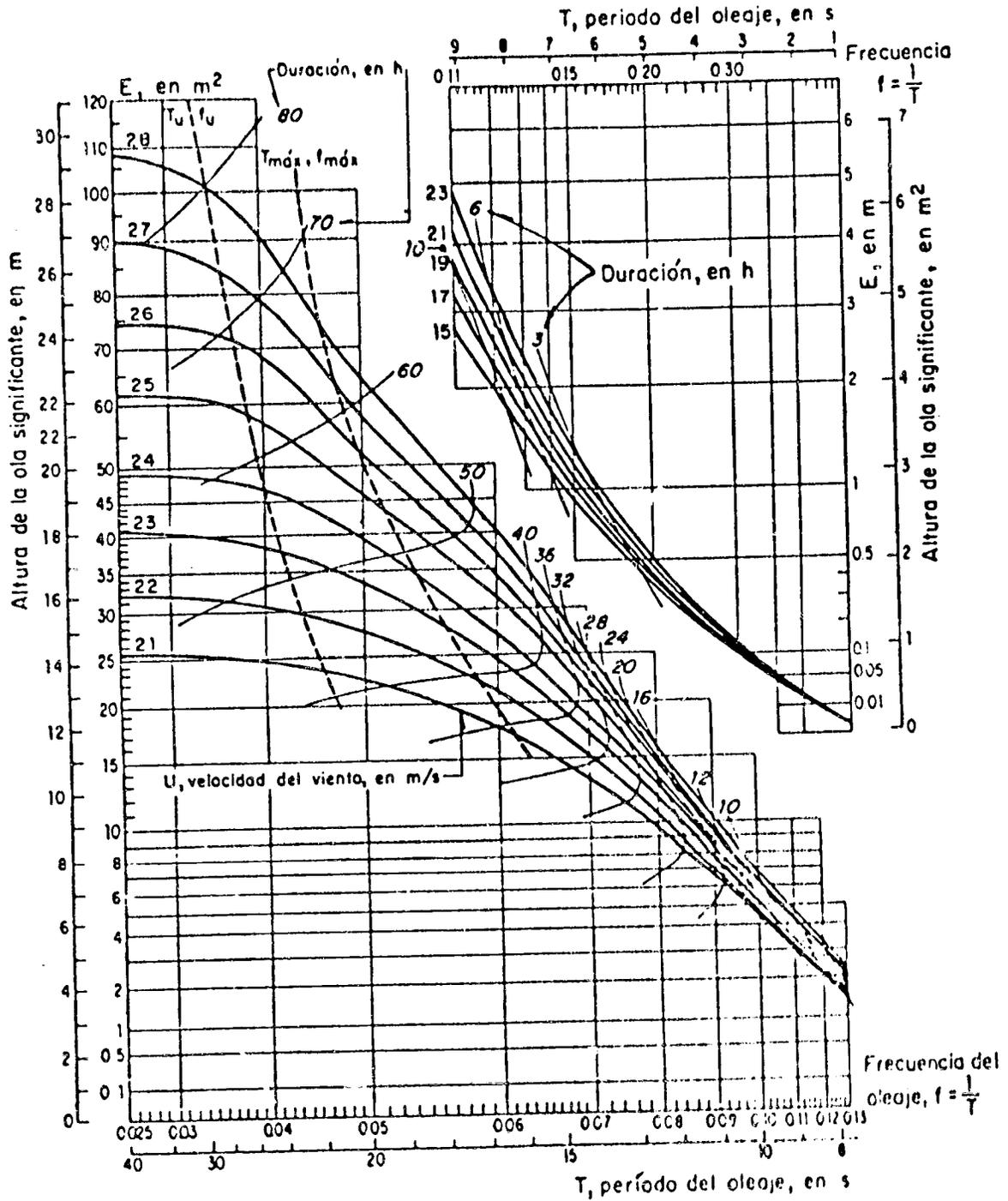


fig.II.3.2b Espectro coacumulativo distorsionado para velocidades del viento entre 21 y 28 m/s en función de la duración

- Altura de la onda más frecuente	$H_f = 1.41 \sqrt{E'}$
- Altura de la onda media	$H_m = 1.772 \sqrt{E'}$
- Altura de la onda significativa	$H^{1/3} = 2.832 \sqrt{E'}$
- Altura de la onda $H^{1/10}$	$H^{1/10} = 3.60 \sqrt{E'}$

6°. Utilizando la gráfica que condujo a la obtención de la menor E, y a partir de la intersección de los datos, se obtiene la frecuencia  $f_i$  o período  $T_i$  en el eje de las abscisas.

Cuando el oleaje no está limitado por el fetch o por duración, se llega a la rama horizontal de las curvas para U constante, y por lo tanto se tiene un número infinito de frecuencias. Por ello se deben utilizar las curvas de  $f_{max}$  y  $f_u$  que aparecen en las fig. II.3.1 y II.3.2 y obtener esos parámetros de la intersección de dichas curvas con la U constante. Por otra parte  $f_{max}$  o  $T_{max}$  indican la frecuencia mínima o período máximo que puede tener el oleaje generado ( aunque puede haber olas con mayor período pero su energía en conjunto es muy pequeña y por eso no se toma en cuenta ).

7° Si el oleaje está limitado por el fetch o duración y por ello se obtuvo  $f_i$  en lugar de  $f_u$ , ésta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f_u = 0.83 f_i \text{ ----- Ec. 2}$$

$$T_u = \frac{1}{f_u} \text{ ----- Ec. 3}$$

8° Se calcula el período mínimo,  $T_L$ , que pueden tener las olas generadas, ( Las olas con período menor, tomadas en conjunto no tienen una energía significativa ). Para calcular  $T_L$  primero se obtiene  $E'$ , cuyo valor está dado por:

$$E' = 0.03 E \text{ ----- Ec. 4}$$

Se determina el punto de cruce de  $E'$  con U y en el eje de las abscisas se obtiene  $T_L$  o  $F_L$ .

9° Se calcula el período promedio mediante la relación:

$$T_m = \frac{T_i + T_L}{2} \text{ ----- Ec. 5}$$

10° El período significativo se puede obtener de la relación

$$T_{1/3} = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} \text{ ----- Ec. 6}$$

donde:  $T_{1/3}$  está en seg.

$H_{1/3}$  está en mts.

#### PREDICCIÓN DEL OLAJE EN LA ZONA DE DECAIMIENTO.

Los factores que influyen en la zona de decaimiento son los siguientes:

- 1° La diferencia entre las celeridades de las ondas provoca una dispersión de la energía, ésta ocurre en la dirección de propagación del oleaje.
- 2° La pérdida de energía por fricción y turbulencia provoca un rápido decaimiento en las ondas de menor período y mayor esbeltez .
- 3° Hay una transferencia de energía de las ondas de período corto a las de período largo.
- 4° Una disipación de energía ocurre transversalmente a la dirección de propagación.

Los tres primeros factores ocasionan la desaparición de las ondas pequeñas y como consecuencia de ello existe una preponderancia de las ondas con longitud mayor.

Al salir el oleaje de la zona de generación, deja bajo la acción del viento y a medida que avanza la apariencia caótica que presentaba tiende a desaparecer. Esto último es debido a dos efectos:

- 1° Deseminación angular. Al salir de la zona de generación, las diferentes componentes del oleaje avanzan en diferentes direcciones y por tanto, se separan a medida que se alejan de la zona donde fueron generadas.
- 2° Dispersión. Dado que cada ola tiene una celeridad propia que depende del período, las de mayor período avanzan más rápido y se separan de las restantes.

El oleaje en la zona de decaimiento se caracteriza por tener crestas planas y regulares a este oleaje y se le llama swell.

La longitud de la zona de decaimiento se obtiene siguiendo la línea del fetch y está limitada por la zona de generación y la frontera entre aguas profundas e intermedias, frente al sitio en estudio.

Para la predicción del oleaje en la zona de decaimiento existe un método muy usual que es el BRESTSCHNEIDER. Brestschneider, considera que la disminución de la energía del oleaje se debe a la dispersión del mismo; sus resultados se muestran en las fig. II.3.3 y II.3.4.

Para predecir el oleaje en la zona de decaimiento se necesitan conocer las características del oleaje al final de la zona de generación ( altura y período de la ola significativa); la longitud de la zona de decaimiento ( D ) y la longitud del fetch. Una vez conocidos los valores anteriores se calculan las relaciones  $\frac{D}{6.07(H^{1/3})G}$ ,  $\frac{D}{F}$  y  $\frac{D}{1.85(T^{1/3})^2 G}$

donde:

$(H^{1/3})D$ ,  $(T^{1/3})D$  = Altura y período de la ola significativa al final de la zona de decaimiento.

$(H^{1/3})G$ ,  $(T^{1/3})G$  = Altura y período de la ola significativa al final de la zona de generación.

Posteriormente, se entra con los valores  $\frac{D}{1.82(T^{1/3})^2 G}$  y

$\frac{D}{F}$ ; en la fig. II.3.3 y se ubica un punto, definiéndose la curva sobre, o paralela a la cuál se tiene el valor de  $\frac{D}{1.85(T^{1/3})^2 G}$  y lo mismo se hace para la fig. II.3.4, en esta última fig. se entra con

$\frac{D}{6.07(H^{1/3})G}$  y  $\frac{D}{F}$ , y se obtiene  $\frac{D}{6.07(H^{1/3})D}$ .

calculándose finalmente  $H^{1/3}$  y  $T^{1/3}$ .

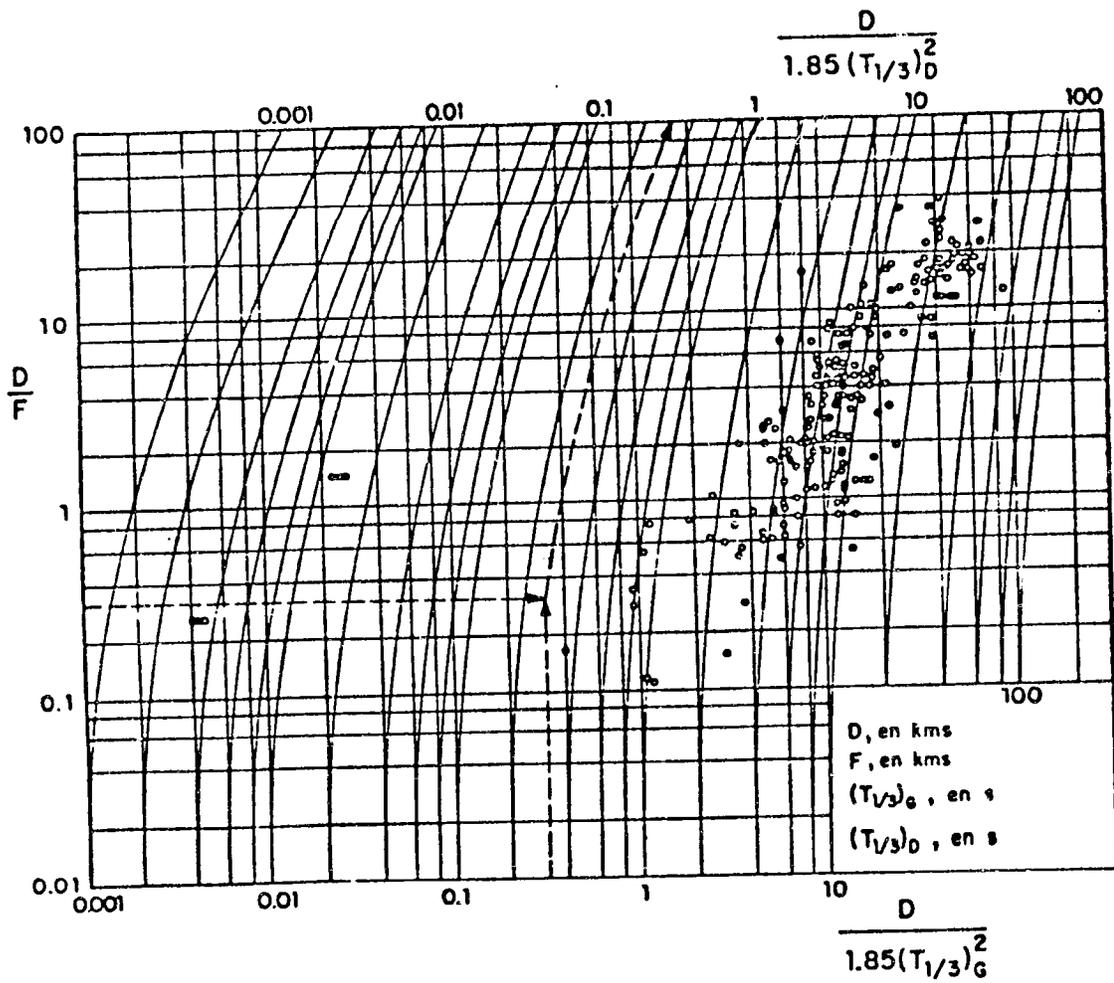


fig. II.3.4. Obtención del período de la ola al final de la zona de decaimiento

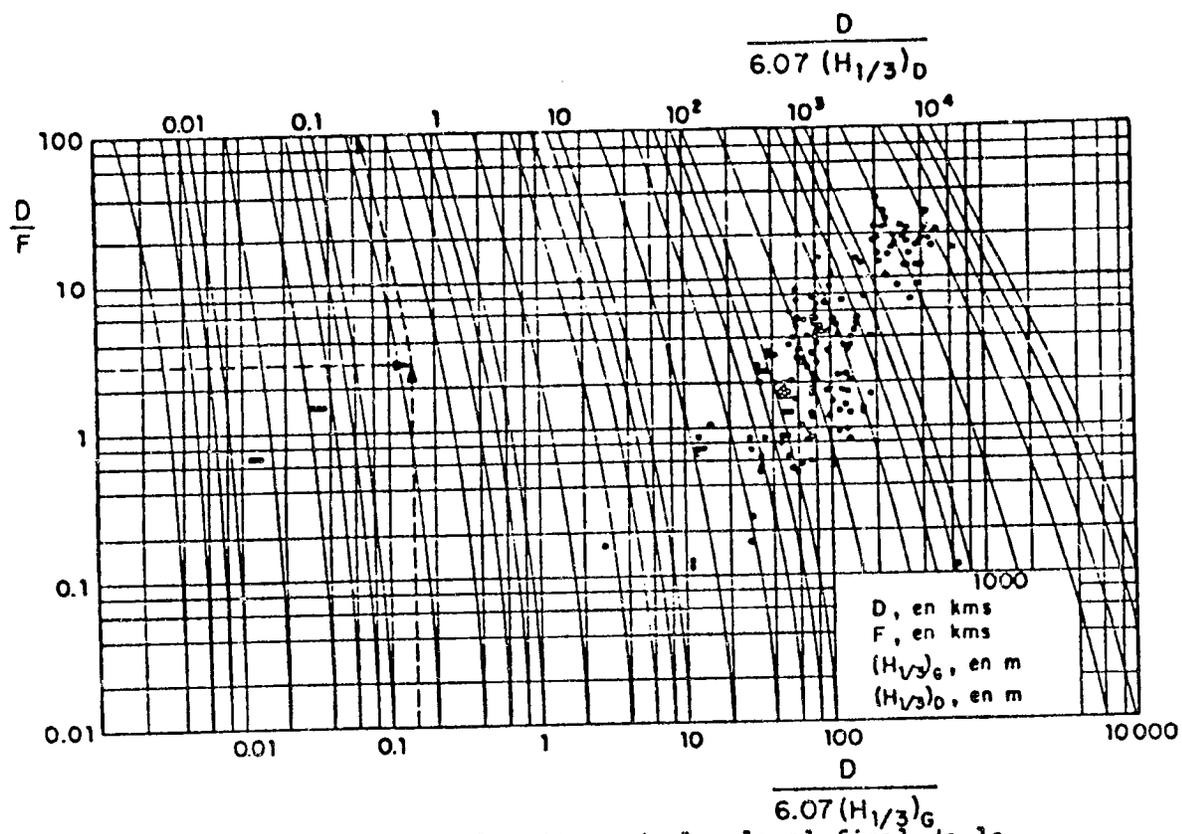


fig. II.3.4. Obtención de la altura de la ola al final de la zona de decaimiento

### PREDICCIÓN DEL OLEAJE EN AGUAS INTERMEDIAS Y SOMERAS.

Las olas generadas en aguas intermedias y someras deben ser, generalmente, de menor altura y período en comparación con las generadas en aguas profundas. Este tipo de oleaje se aplica a lagos y bahías con profundidad constante, por consiguiente este tipo de oleaje no se determinará, dado que para nuestro caso es una desembocadura total del río Grijalva.

### PREDICCIÓN DEL OLEAJE GENERADO POR UN HURACÁN

Las características del oleaje generado por un huracán, es complicada, debido a que la determinación del fetch es laboriosa y algunas veces complicada, además existen cambios de velocidad, dirección y duración del viento ya que el huracán se desplaza, sobre los océanos.

El CERC ( Coastal Engineering Research Center) propone utilizar dos fórmulas empíricas que pueden ser usadas para estimar la altura y período de la ola significativa en aguas profundas, para el punto donde se tenga el viento máximo, y son:

$$(H_{1/3})_{\text{máx.}} = 5.03 e^{\left(\frac{RAP}{4700}\right)} \left[ 1 + \frac{0.29 \alpha V_f}{\sqrt{U_R}} \right] \text{--- Ecu. 7}$$

$$(T_{1/3})_{\text{máx.}} = 8.60 e^{\left(\frac{RAP}{9400}\right)} \left[ 1 + \frac{0.145 \alpha V_f}{\sqrt{U_R}} \right] \text{--- Ecu. 8}$$

donde:

( H 1/3 ) máx. = Altura máxima de la ola significativa, en mts.

( T 1/3 ) máx. = Período de la ola significativa correspondiente a  
( H 1/3 ) máx. en seg.

R = Radio del viento máximo, en km. se mide desde el centro del huracán al lugar donde la velocidad del viento es máxima y varía entre 9 y 90 km.

$\Delta P$  = Diferencia de presión, en mm de mercurio. Está dado por ( Pn - Po), donde Pn es la presión atmosférica normal al nivel del mar e igual a 760 mm de mercurio y Po es la presión que se tiene en el centro del huracán, expresada en mm de mercurio.

VF = Velocidad de desplazamiento del huracán, en m/seg.  
 UR = Velocidad máxima del viento, en m/seg., debe ser calculada a 10 m de la superficie del mar y corresponde al punto donde el radio sea igual a R. se puede utilizar las siguientes expresiones:

$$UR = 0.865 U \text{ máx. ( huracán estacionario) } \quad \text{Ecu. 9 a}$$

$$UR = 0.865 U \text{ máx.} + 0.5 VF \text{ ( huracán desplazándose) } \quad \text{Ecu. 9b}$$

U máx = Velocidad máxima gradiente, en m/seg.; debe ser calculada a 10m arriba de la superficie del mar y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$U \text{ máx.} = 0.446 \left[ 14.5 ( P_n - P_o )^{1/2} - 0.31 R ( 2w \text{ sen } \theta ) \right] \text{ Ecu.9c.}$$

$$w = \text{velocidad angular de la tierra} = -\frac{2\pi}{24} \text{ Rad / hora.}$$

$$\theta = \text{latitud del lugar, en grados.}$$

$\alpha$  = Coef. que depende de la velocidad de avance del huracán. Para huracanes que se desplazan lentamente o moderadamente ,  $\alpha = 1.00$ .

La altura de la ola obtenida con la ecu. 7, es la máxima que provoca el huracán, presentándose en las coordenadas (1,0) de la fig. II.3.5. Con ayuda de esa misma fig. se puede obtener la altura del oleaje en cualquier lugar del huracán en función de los valores H/H máx. ahí indicados. H es la altura del oleaje en cualquier otra zona del huracán.

Para la zona del Golfo de México, en base a los datos de huracanes registrados, se propone utilizar la siguiente ecuación para calcular R.

$$R = 1.85 \cdot 10^3 \left( \frac{P_o}{150} - 3.45 \right) + \Delta R \text{ -----Ecu. 10 a}$$

$$\Delta R = 1.85 \cdot 10^3 \frac{1}{2} \left( \frac{P_o}{38} - 16.74 \right) \text{ -----Ecu. 10 b}$$

donde R y  $\Delta R$  están en km y  $P_o$  en mm de mercurio.

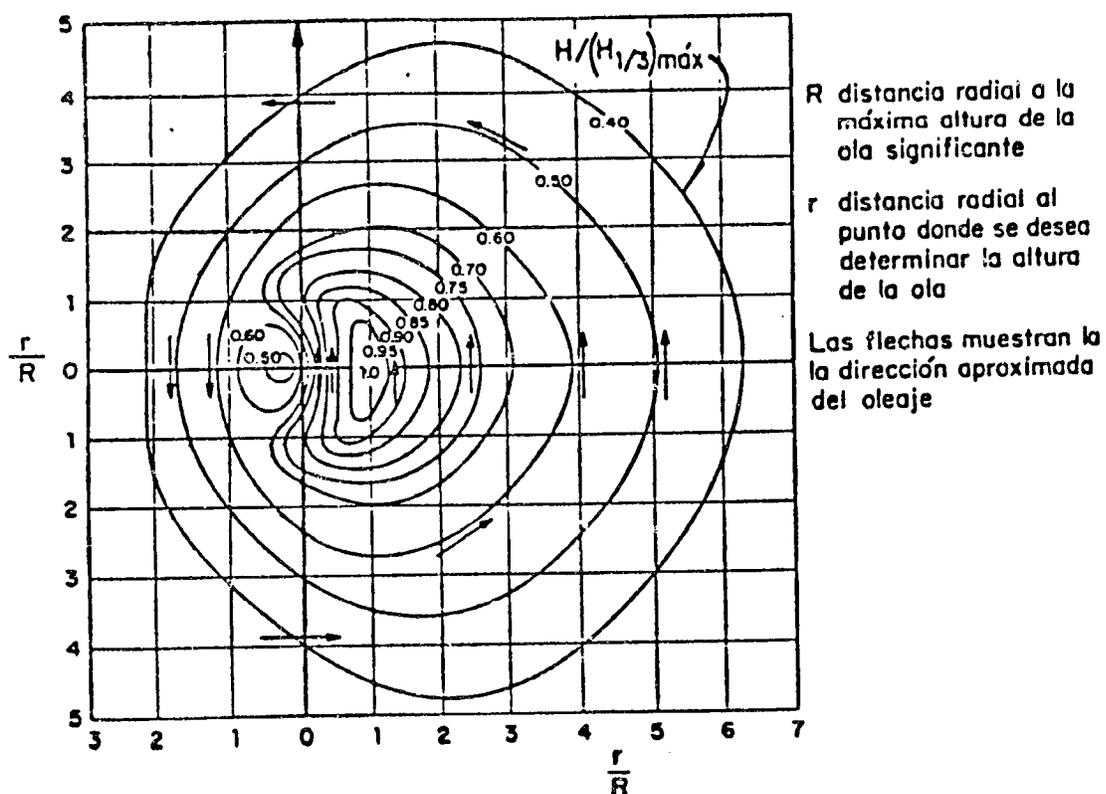


fig. II.3.6. Líneas de igual altura relativa de la ola significante para un huracán que se desplaza lentamente

CALCULOS Y CARACTERISTICAS DEL OLAJE EN LA ZONA DE GENERACION:

DATE:

Estad (E) = 960 km.

Duración (t) = 10 seg. (propuesto)

Velocidad (V) = 31 m/seg.

Con los datos de U y F se entra a la gráfica de la fig. II.3.1b y se obtiene  $E_1 = 29.00 \text{ m}^2$ .

Luego con U y t se entra a la gráfica de la fig. II.3.2b y se obtiene  $E_2 = 8.00 \text{ m}^2$ .

Como  $E_2 < E_1$ , el oleaje está limitado por duración y para el cálculo de las alturas representativas se tomará  $E_2 = 8.00 \text{ m}^2$ .

$$\therefore H_f = 1.41 \sqrt{8} = 3.99 \text{ m} \approx 4.00 \text{ m.}$$

$$H_m = 1.77 \sqrt{8} = 5.01 \text{ m} \approx 5.00 \text{ m.}$$

$$H_{1/3} = 2.83 \sqrt{8} = 8.01 \text{ m} \approx 8.00 \text{ m.}$$

$$H_{1/10} = 3.60 \sqrt{8} = 10.18 \text{ m} \approx 10.00 \text{ m.}$$

Cálculo de  $f_i$  o  $T_i$ , por medio de la gráfica de la fig. II.3.2b, se obtiene  $T = 10.5 \text{ seg.}$

$$\therefore f_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{10.5} = 0.0952$$

como  $f_i = 0.0952$

$$\therefore f_u = 0.83 f_i = 0.83 \times 0.0952 = 0.07904$$

$$\text{y } T_u = \frac{1}{f_u} \therefore T_u = \frac{1}{0.07904} = 12.65 \text{ seg.} \approx 13 \text{ seg.}$$

Período mínimo  $T_L$ ; para calcular el período mínimo, primero se calculará,

$$E' = 0.03 E.$$

$$E' = 0.03 \times 8 = 0.24$$

Con  $E'$  y U se entra a la gráfica. De la fig. II.3.2b y se obtiene

$$T_L = 5 \text{ seg.}$$

$$\therefore f_L = \frac{1}{T_L} = \frac{1}{5} = 0.200$$

período promedio  $T_m$ ;

$$T_m = \frac{T_i + T_L}{2} = \frac{13 + 5}{2} = 9 \text{ seg.}$$

v período significativo,  $T_{1/3}$

$$T_{1/3} = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} = 3.86 \sqrt{8.00} = 10.92 \approx 11 \text{ seg.}$$

y altura significativa  $H_{1/3} = 8.00 \text{ m.}$

#### CALCULO Y CARACTERISTICAS DEL OLAJE EN LA ZONA DE DECAIMIENTO.

Para conocer las características en la zona de decaimiento es necesario conocer, altura y período de la zona de generación:

Longitud de decaimiento = 320 km. según fig. II 2.5  
 Longitud del Fetch = 960 km según fig. II 2.5  
 $H_{1/3} = 8.00 \text{ m}$   
 $T_{1/3} = 11 \text{ seg.}$

cálculo de :

$$\frac{D}{6.07 (H_{1/3})} = \frac{320}{6.07 (8.00) G} = 6.589$$

$$\frac{D}{F} = \frac{320}{960} = 0.3333$$

$$\frac{D}{1.85 (T_{1/3})^2 G} = \frac{320}{1.85 (11)^2} = 1.4295$$

con 1.4295 y 0.3333 se entra a la gráfica de la fig. II 3.3 y se obtiene

$$\frac{D}{1.85 (T_{1/3})^2 D} = 7.00$$

y lo mismo se hace con :

6.589 y 0.3333 y se entra a la gráfica de la fig. II 3.4 y se obtiene

$$\frac{D}{6.07 (H_{1/3}) D} = 8.20$$

∴ con.

$$\frac{D}{1.85 (T_{1/3})^2 D} = 7.00 \quad \text{y} \quad \frac{D}{6.07 (H_{1/3}) D} = 8.20$$

se obtiene

$$T_{1/3 D} = \sqrt{\frac{D}{1.85 \times 7}} = \sqrt{\frac{320}{1.85 \times 7}} = 4.97 \approx \underline{5 \text{ seg.}}$$

$$y \quad H_{1/3} = \frac{D}{6.07 \times 8.20} = \frac{320}{49.774} = 6.42 \approx \underline{6.50 \text{ m.}}$$

### CALCULO Y CARACTERISTICAS DEL OLEAJE DENTRO DE UN HURACAN

altura significativa (  $H_{1/3}$  ) máx.

en base a la ecu. 7 tenemos:

$$(H_{1/3})_{\text{máx.}} = 5.03 e^{\left(\frac{RAP}{4700}\right)} \left[ 1 + \frac{0.29 VF}{UR} \right]$$

$$\Delta R = 1.85 \left[ 10^{\frac{1}{2} \left( \frac{Po}{38} - 16.74 \right)} \right] \text{ Ecu. (10b) si } Po = 700 \text{ mm de mercurio, Ver fig. II 3.5, } 0.7 \times 1000 = 700 \text{ mm}$$

$$\Delta R = 1.85 \left[ 10^{\frac{1}{2} \left( \frac{700}{38} - 16.74 \right)} \right] = 12.8143 \text{ km.}$$

$$R = 1.85 \left[ 10^{\left( \frac{Po}{150} - 3.45 \right)} \right] + \Delta R = \text{Ecu. (10a)} \left[ 10^{\left( \frac{700}{150} - 3.45 \right)} \right] + 12.814 \text{ km.}$$

$$R = \underline{43.2816 \text{ km.}}$$

$$U_{\text{max.}} = 0.446 \left[ 14.5 (P_n - P_o)^{1/2} - 0.31 R (2w \times \text{sen } \theta) \right]$$

$$(P_n - P_o) = 760 - 700 = 60 \text{ mm, } w = 0.0041769 \text{ }^\circ/\text{seg.}; 1 \text{ Rad.} = 57.296^\circ$$

$$\theta = 18^\circ 33' 15'' \text{ latitud norte (ver hoja 3)}$$

$$U_{\text{máx.}} = 0.446 \left[ 14.5 (60)^{1/2} - 0.31 \times 43.28 (2 \times 0.0041769 \times \text{sen. } 18^\circ 33' 15'') \right]$$

$$U_{\text{máx.}} = 50.08 \text{ m/seg.}$$

$$UR = U_{\text{máx.}} + 0.5 VF : VF = 0.50 \text{ m/seg.} \Rightarrow \text{(Supuesta)}$$

$$UR = 50.08 + 0.5 \times 0.50 = 50.33 \text{ m/seg.}$$

$$\Delta P = P_n - P_o = 60 \text{ mm.}$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\therefore (H \ 1/3) \text{ máx.} = 5.03 e^{\left( \frac{43.28 \times 60}{4700} \right)} \left[ 1 + \frac{0.29 \times 1.00 \times 0.50}{50.33} \right]$$

$$(H \ 1/3) \text{ máx.} = 8.918 \approx 9.00 \text{ m.}$$

$$y (T \ 1/3) \text{ máx.} = 8.60 e^{\left( \frac{43.28 \times 60}{9400} \right)} \left[ 1 + \frac{0.145 \times 1.00 \times 0.50}{50.33} \right]$$

$$\therefore (T \ 1/3) \text{ máx.} = 11.45 \text{ 22 seg.} \approx 11.5 \text{ seg.}$$

#### OCURRENCIA DEL OLEAJE EN LA ZONA DE FRONTERA TAB.

Para tal efecto, se puede ver la fig. II 3.6 , donde muestra la ocurrencia del oleaje en general. Como se puede observar la ocurrencia mas frecuente es de 30°N E, 60°N E y las mayores alturas de ola proceden de 30°N W.

#### II.4 Análisis de refracción.

Conforme al oleaje se traslada hacia las aguas someras, existe una disminución de celeridad a causa del cambio de profundidad y como consecuencia la longitud de onda disminuye mientras que la altura de onda aumenta y el frente de ese oleaje se reorienta conforme a los contornos del fondo, llamados líneas batimétricas. A este efecto se le llama refracción del oleaje, el cual depende de la relación entre la profundidad y la longitud de onda ( $d/l$ ), ver fig. II 4.1

RESUMEN ANUAL DE PORCENTAJES DE OCURRENCIA DEL OLAJE PARA DIFERENTES RANGOS DE ALTURA EN LA ZONA DE FRONTERA TABASCO

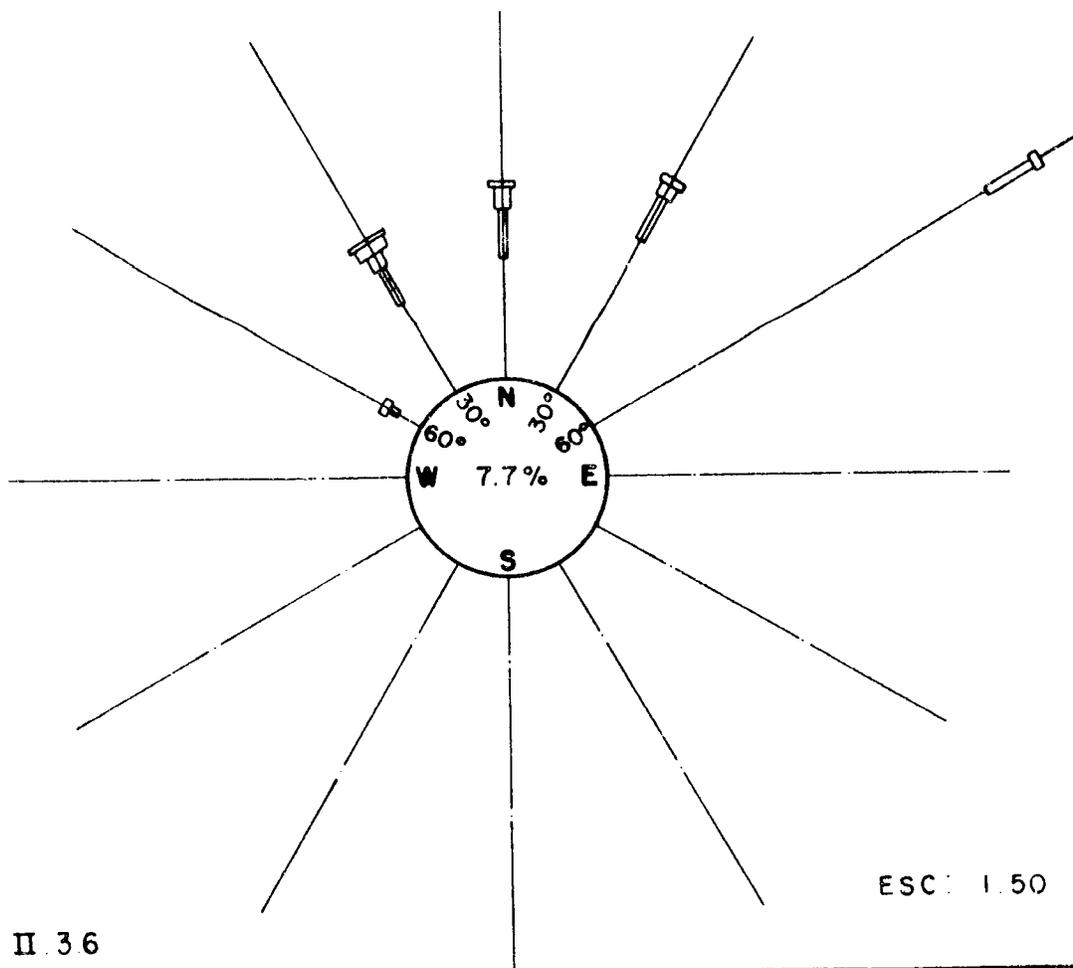


Fig II. 3.6

CLAVE	ALTURA DE OLA (m)	DIRECCION	ALTURA DE OLA					TOTAL
			1.00-1.99	2.00-2.99	3.00-3.99	4.00-5.99	6.00-7.50	
—	1.00 - 1.99	30°NE	13.70	3.70	1.20	0.50	—	19.10
— —	2.00 - 2.99	60°NE	36.20	4.20	0.80	—	—	41.20
— — —	3.00 - 3.99	- N	9.60	3.60	1.60	0.30	—	15.10
— — — —	4.00 - 5.99	30°NW	8.20	3.20	1.40	0.70	0.20	13.70
— — — — —	6.00 - 7.50	60°NW	2.10	0.80	0.30	—	—	3.20
		TOTAL	69.80	15.50	5.30	1.50	0.20	92.30
		ACUMULADO	69.80	85.30	90.60	92.10	92.30	92.30

100% - 92.30 = 7.7% de calma

Datos proporcionados por la SCT Dirección General de Obras Marítimas.

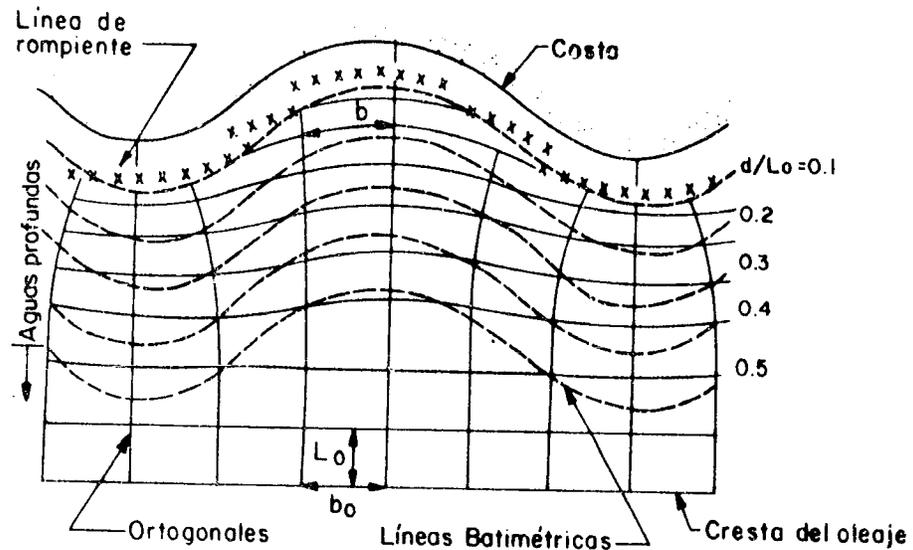


fig II-4-1 Refracción del oleaje

En el estudio de la refracción se supone que cuando una onda avanza hacia la playa, no existe dispersión lateral de energía a lo largo de su frente, es decir la energía transmitida permanece constante entre dos líneas ortogonales, trazadas perpendicularmente al frente de las ondas.

Para el diseño y construcción de obras marítimas, es necesario construir diagramas de refracción, en base a la altura de ola, periodos y dirección del oleaje. Existen dos métodos para formar diagramas de refracción.

- 1.- Método del frente de olas
- 2.- Método de ortogonales o rayos del oleaje

Para nuestro análisis consideraremos el del frente de ola. Este método es esencialmente un plano que muestra las crestas de las olas en un tiempo dado, o las posiciones sucesivas de una cresta en partículas, mientras se mueve hacia la costa. Un segundo conjunto de líneas siempre perpendicula-

res a las crestas se construye en el plano; estas líneas se conocen como "ortogonales".

Este método se utiliza por la sencillez para trazar los frentes de olas. Se apoya en la construcción de una regleta, la cual relaciona los avances de los frentes de las olas a distintas profundidades ligadas a través de la relación  $d_i/L_0$  como se muestra en la fig. II.4.2.

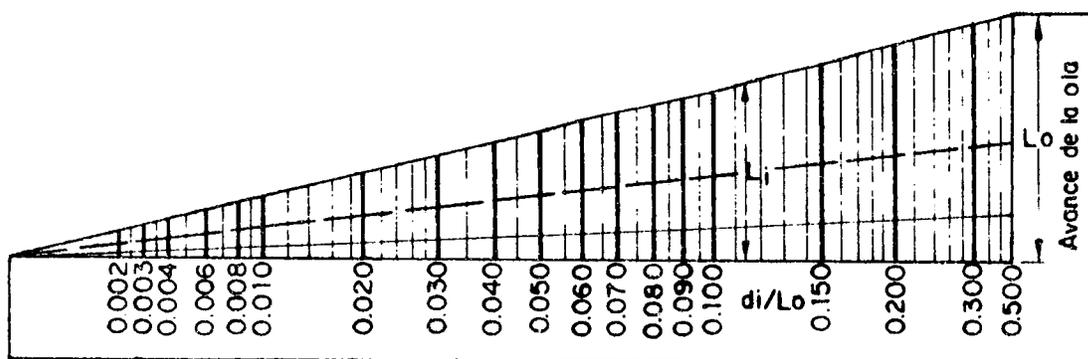


fig. II.4.2 Regleta utilizada para la elaboración de diagrama de refracción.

En aguas profundas, el movimiento de las crestas de las olas es paralela, mientras que en aguas intermedias y bajas, la reducción de la velocidad produce que la cresta se curvee en la dirección en la que disminuye el ángulo entre la cresta y la batimetría correspondiente.

Generalmente es posible empezar la construcción de los diagramas de refracción, desde frentes de olas rectos en una profundidad igual a la mitad de la longitud de la ola en aguas profundas.

La forma inicial de la ola es una línea recta en la zona de aguas profundas. La construcción gráfica de un diagrama de refracción se ejecuta moviendo cada punto de la cresta en una dirección perpendicular a la misma. La fig. II 4.2 muestra una regleta; este avance corresponde a  $L_0$ , debe tomarse en consideración que el avance  $L_0$  no resulte muy grande o muy pequeño, pues en el primer caso la influencia del fondo no es distinguible y en el segundo, se hace laborioso el dibujo.  $L_0$  debe de estar a la escala del plano.

En la práctica común, el tamaño del cateto menor de la regleta (  $L_0$  ) es del orden de los 2.5 a 4 cm. y del cateto mayor de 15 a 20 cm, dimensiones que permiten manipular fácilmente y ejecutar lecturas sin dificultad.

La regleta se construye en material transparente, en papel albanene. El cateto mayor contiene toda la variación de la relación  $d/L_0$  desde la zona de aguas bajas hasta el límite de aguas profundas, es decir, desde 0.00 hasta 0.500, lo cual es cierto para cualquier escala del plano.

El valor de  $L_0$  máxima corresponde para el límite de aguas profundas.

$$\frac{d}{L_0} = 0.5$$

Procedimiento constructivo de un plano de olas por el método de los frentes de olas.

Es necesario contar con:

- a) Batimetría del lugar
- b) Direcciones y períodos del oleaje en el lugar.
- c) Regleta para trazar diagramas de refracción.

Pasos a seguir:

- 1º Determinar el límite de aguas profundas  $\frac{d}{L_0} = 0.5$
- 2º Determinar las relaciones  $d/L_0$  para facilitar el trazo del diagrama y anotarla en cada batimetría
- 3º Trazar el frente de ola en el límite de aguas profundas o detrás de éste en la dirección a estudiar, con el avance determinado en la regleta hasta encontrar el límite de aguas profundas.
- 4º Dividir el frente de ola en el límite de aguas profundas en segmentos de tamaño  $b_0$ , se recomienda que sea múltiplo de  $L_0$ .
- 5º Colocar la regleta por el lado de los valores de  $d/L_0$  haciéndolo coincidir tangencialmente con el último frente de ola.
- 6º Se hace coincidir a la batimetría mas cercana con su correspondiente de  $d/L_0$  en la línea punteada de la regleta, determinando el avance correspondiente sobre la hipotenusa de la regleta.

- 7<sup>o</sup> Deslizar la regleta sobre el mismo frente de la ola hasta intersectar nuevamente la misma batimétrica del punto anterior o una inmediata para determinar otro avance.
- 8<sup>o</sup> Se repite la operación las veces que sean necesario y mediante la unión de los puntos marcados, obtener el frente de ola.
- 9<sup>o</sup> A partir de los valores que tiene el frente en el límite de aguas profundas, se trazan ortogonales en esos puntos y se prolongan hasta la mitad de la distancia entre cada frente de ola.
- 10<sup>o</sup> Se coloca la regleta sobre el nuevo frente de ola procurando hacer coincidir el lado mayor de la regleta con el frente de la ola, de no ser posible debido a que éste nuevo frente tenga una configuración muy irregular, se coloca la regleta en el punto sobre el frente que se quiere dar el avance, tangencialmente al punto, alineado para ello el valor correspondiente en la escala d/Lo y el punto en cuestión. con el extremo de la ortogonal que se encuentra a la mitad de la distancia entre el frente anterior y éste. Y repitiendo los pasos 6<sup>o</sup> , 7<sup>o</sup> y 8<sup>o</sup> se obtiene un nuevo frente de ola.
- 11<sup>o</sup> Se une con una línea recta al punto sobre el frente del cual se obtuvo el nuevo avance con el extremo de la ortogonal anterior y se prolonga hasta la mitad de la distancia entre este frente y el que se acaba de definir.
- 12<sup>o</sup> Se repite todo el proceso hasta encontrar la última batimétrica.

Para construir el diagrama de refracción , es necesario conocer también dirección y períodos del oleaje.

- . Dirección; de acuerdo a las fig. II 3.6, se construirán cuatro diagramas para 60°, NW 30°, NW 0° y NE 30° .
- . Períodos; debería analizarse con dos períodos mínimo; el período promedio  $T = 9$  seg. y el período significativo  $T 1/3 = 11$  seg. del oleaje en la zona de generación . Pero para fines de éste trabajo se tomará un solo período  $T = 9$  seg.

NOTA: Se construirán cuatro diagramas de refracción

$$1^{\text{a}} \alpha = \text{NW}60^{\circ} = 242^{\circ}; T = 9 \text{ seg.}$$

$$2^{\text{a}} \alpha = \text{NW}30^{\circ} = 271^{\circ}; T = 9 \text{ seg.}$$

$$3^{\text{a}} \alpha = \text{W}0^{\circ} = 301^{\circ}; T = 9 \text{ seg.}$$

$$4^{\text{a}} \alpha = \text{NE}30^{\circ} = 331^{\circ}; T = 9 \text{ seg.}$$

Cálculos necesarios para el análisis de refracción.

1er. Caso  $T = 9 \text{ seg.}; \alpha = 242^{\circ}$

- Límites de aguas profundas.

$$\frac{d}{L_o} = 0.5, L_o = 1.56 T^2; T = 9 \text{ seg.} \therefore L_o = 1.56 \times 9^2$$

$$\therefore L_o = 126.36 \text{ m} \approx 130 \text{ m.}$$

y  $d = 0.5 \times 130 = 65 \text{ m}$  a 65 m de profundidad comenzará la refracción

- Determinación de las relaciones  $\frac{d}{L_o}$  de cada curva batimétrica.

d	d/L <sub>o</sub>
65	0.50
60	0.46
55	0.42
50	0.38
45	0.35
40	0.31
35	0.27
30	0.23
25	0.19
20	0.15
15	0.12
10	0.08
5	0.04

NOTA: Ver planos de refracción del oleaje.

## II.5 Transporte litoral

El transporte litoral se produce por efecto de las corrientes litorales, y por la acción directa del oleaje, que al poner en suspensión a las partículas facilita su desplazamiento dentro del seno de las corrientes. Este

fenómeno es el que mas afecta a los accesos, o dársenas de los puertos, así como también a los canales de navegación, siendo estos los ríos naturales.

Para poder evaluar el transporte litoral, es necesario conocer las condiciones del oleaje en la rompiente, la batimetría y las características del material que constituye la playa.

Para poder evaluar las características del oleaje en la rompiente se hace por el procedimiento siguiente:

1º Se calcula la celeridad de la ola en aguas profundas.

$$C_p = \frac{gt}{2\pi} \quad , \quad g = 9.81 \text{ m/seg.}^2$$

t = período en seg.

2º Se calcula la profundidad en la rompiente.

$$d_b = \frac{H_i}{A} \quad , \quad \text{en una primera aproximación se supone } H_i = H_o = \text{altura de ola en m., en aguas profundas.}$$

A = 0.33 P + 0.46, de acuerdo con la teoría de la onda solitaria, se toma un valor de P = 1.00, ya que se considera que la rompiente es de tipo "plunging"

3º Se calcula la celeridad de la ola en la rompiente

$$C_b = \sqrt{g d_b} \quad ;$$

4º Se calcula el coeficiente de fondo.

$$K_s = \sqrt{0.5 \frac{C_o}{C_b}}$$

5º Se calcula el ángulo de incidencia en la rompiente

$$b = \text{arc. sen.} \left( \frac{C_b}{C_o} \text{ sen. } \alpha_o \right)$$

$\alpha_o$  = es el ángulo de incidencia de la ola en aguas profundas y una línea paralela a la playa.

6º Se calcula el coef. de refracción en la rompiente

$$K_{rb} = \sqrt{\frac{\text{Cos } \alpha_o}{\text{Cos } \alpha_b}}$$

7<sup>a</sup> Se determina la altura en la rompiente

$H_b = H_o \cdot k_{rb} \cdot K_s$ ;  $H_o$  es la altura de ola en aguas profundas. Tomando el promedio de las alturas mostradas en la tabla II.5.1

8<sup>a</sup> Se compara el valor de  $H_b$  calculado en el 7<sup>o</sup> paso y el valor de  $H_i$  del 2<sup>o</sup> paso, si son diferentes se toma:

$$H_i = \frac{H_i + H_b}{2}$$

Y este nuevo valor de  $H_i$ , se sustituye en el 2<sup>o</sup> paso y se repite el cálculo hasta que los valores entre una iteración y otra satisfagan una tolerancia de 0.010 m.

Los valores  $T$ ,  $H_o$  y  $\alpha_o$ , se tomarán de la tabla II.5.1. siendo un resumen anual de ocurrencia del oleaje. Como se puede observar se obtendrán diferentes condiciones de rompiente, según la dirección y altura de ola considerados, en aguas profundas.

Se analizará con  $\alpha = 10^\circ = N60^\circ E$ ,  $T = 4$  seg. y  $H_o = \frac{0.00 + 1.00}{2} = 0.50$  m.

Luego,  $\alpha = 10^\circ = N60^\circ E$ ,  $T = 6$  seg. y  $H_o = \frac{1.01 + 1.99}{2} = 1.50$  m.

etc.

Para esto se analizará con un programa de subrutina.

EJEMPLO:

Para el primer caso tenemos:

$T = 4$  seg.;  $\alpha = 10$ ,  $H_o = 0.50$

.. Aplicando los pasos antes mencionados, se tiene

$$1^a \quad C_o = \frac{gt}{2\pi} = \frac{9.81 \times 4}{2\pi} = 6.24 \text{ m/seg.}$$

$$2^a \quad d_b = \frac{H_i}{A} = \frac{0.50}{(0.33 \times 1) + 0.46} = 0.6329 \text{ m.}$$

$$3^a \quad C_b = \sqrt{g \cdot d_b} = \sqrt{9.81 \times 0.6329} = 2.4917$$

$$4^a \quad K_s = \sqrt{0.5 \cdot \frac{C_o}{C_b}} = \sqrt{\frac{0.5 \times 6.24}{2.4917}} = 1.1190$$

$$5^{\circ} \quad b = \text{arc. sen.} \left( \frac{C_b}{C_o} \text{ sen. } \alpha_o \right) = \text{arc. sen.} \left( \frac{2.4917}{6.24} \text{ sen } 10 \right) = 3.9762^{\circ}$$

$$6^{\circ} \quad K_{rb} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_b}} = \sqrt{\frac{\cos 10}{\cos 3.9762}} = 0.9936$$

$$7^{\circ} \quad H_b = H_o K_{rb} K_s = 0.50 \times 1.119 \times 0.9932 = 0.5557 \text{ m.}$$

$$8^{\circ} \quad H_{i+1} = \frac{H_i + H_b}{2} = \frac{0.50 + 0.5557}{2} = 0.5279 \text{ m}$$

$$\text{Tolerancia} = 0.5279 - 0.50 = 0.0279 > 0.0100 \text{ m.}$$

No cumple con la tolerancia fijada, para esto se implementará la subrutina, y los resultados resultantes se muestran en la tabla II.5.2

Una vez teniendo las características del oleaje en la zona de rompiente, para todas las direcciones posibles, se calculará el transporte litoral, por los siguientes métodos:

1<sup>a</sup> Método de Larras; la fórmula dice:

$$Q_s = 0.118 \times 10^{-5} D_{50}^{1/2} \left( \frac{L_o}{H_o} \right) g H_b^2 T \text{ sen} \left( \frac{7}{4} \alpha_b \right) \dots \text{Ecu. 11}$$

donde:

$Q_s$  = Gasto sólido, en  $\text{m}^3/\text{seg.}$

$H_o$  = Altura de ola en aguas profundas en m.

$D_{50}$  = Diámetro medio de los granos que constituyen la playa, en m.

$L_o$  = Longitud de la ola en aguas profundas, en m.

$g$  = Aceleración de la gravedad, en  $\text{m}/\text{seg.}^2$

$H_b$  = Altura de la ola en la rompiente, en m.

$T$  = Período de la ola, en seg.

$\alpha_b$  = Angulo de incidencia del oleaje en la rompiente, en grados.

Como se puede observar las variables de que depende  $Q_s$ , se muestran en la tabla II.5.3, para todas las direcciones, períodos y alturas de olas posibles. Excepto  $D_{50}$  que será igual:  $D_{50} = 0.00022 \text{ m}^*$  para todos los casos. Así como también, se obtendrá una constante de transformación de  $\text{m}^3/\text{seg.}$  a  $\text{m}^3/\text{año.}$

1 año = 365 días

1 día = 24 horas

1 hora = 3600 seg.

\* Dato obtenido de los muestreos realizados por, Sistemas Hidráulicos y Ambientales S.A., para la Dirección General de Obras Marítimas, S.C.T.

RESUMEN ANUAL DE PORCENTAJES DE OCURRENCIA DE OLAJE CON DIFERENTES RANGOS DE ALTURA Y TODAS LAS DIRECCIONES POSIBLES, EN LA ZONA DE FRONTERA, TABASCO.

PERIODOS ( SEG )	4	6	7	8	10	12	
ALTURA DE OLA ( m ) DIRECCION	0.0-1.00	1.01-1.99	2.00-2.99	3.00-3.99	4.00-5.99	6.00-7.50	T O T A L
N 60°E ( 10° )	25.2	11.0	4.2	0.8			41.2
N 30°E ( 40° )	9.5	4.2	3.7	1.2	0.5		19.1
N ( 70° )	6.6	3.0	3.6	1.6	0.3		15.1
N 30°W ( 80° )	5.7	2.5	3.2	1.4	0.7	0.2	13.7
N 60°W ( 50° )	1.4	0.7	0.8	0.3			3.2
W ( 20° )	3.6	1.5	1.9	0.7			7.7
TOTAL	52	22.9	17.4	6.0	1.5	0.2	100.0
ACUMULADO	52	74.9	92.3	98.3	99.8	100.	100.0

51

TABLA II.5.1

Información recabada por Dames & Moore según la Dirección General de Obras Marítimas S.C.T.

INTERACI- ON.	CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS				CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LA ZONA DE ROMPIENTES								TOLE- RANCIA
	T	$\alpha_0$	H <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	db	C <sub>b</sub>	K <sub>s</sub>	$\alpha_b$	K <sub>rb</sub>	H <sub>b</sub>	H <sub>i</sub> su- puesta	H <sub>b</sub> me- dia.	
1	4	10	0.5	6.24	0.63	2.49	1.12	3.98	0.99	0.56	0.50	0.53	0.03
2	4	10	0.5	6.24	0.67	2.56	1.10	4.09	0.99	0.55	0.53	0.54	0.01
3	4	10	0.50	6.24	0.68	2.59	1.10	4.13	0.99	0.54	0.54	0.54	0.00

TABLA II.5.2

Como se puede observar a la 3a. interacción se cumple la tolerancia fijada.

Dado que este procedimiento se repetirá para todos los casos, mostrados en la tabla II.5.1 se hará una tabla general de resultados finales., donde se incluirá "Lo" para cada caso.  $Lo = \frac{\Sigma}{2\pi} T^2$ , siendo la tabla II.5.3

N°	CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LA ZONA DE AGUAS PROFUNDAS					CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LA ZONA DE ROMPIENTES					
	T	$\alpha_0$	Hb	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	d <sub>b</sub>	C <sub>b</sub>	K <sub>s</sub>	$\alpha_b$	K <sub>rb</sub>	H <sub>b</sub>
1	4	10	0.50	25.00	6.24	0.68	2.59	1.10	4.13	0.99	0.54
2	6	10	1.50	56.00	9.36	1.94	4.37	1.04	4.65	0.99	1.54
3	7	10	2.50	76.00	10.92	3.13	5.54	0.99	5.06	0.99	2.46
4	8	10	3.50	100.00	12.48	4.33	6.52	0.98	5.20	0.99	3.39
5	4	40	0.50	25.00	6.24	0.63	2.49	1.12	14.87	0.89	0.50
6	6	40	1.50	56.00	9.36	1.80	4.20	1.06	16.77	0.89	1.42
7	7	40	2.50	76.00	10.92	2.89	5.32	1.01	18.26	0.90	2.28
8	8	40	3.50	100.00	12.48	3.99	6.25	1.00	18.79	0.90	3.15
9	10	40	5.00	156.00	15.60	5.79	7.53	1.02	18.09	0.90	4.58
10	4	70	0.50	25.00	6.24	0.47	2.15	1.20	18.90	0.60	0.36
11	6	70	1.50	56.00	9.36	1.32	3.60	1.14	21.17	0.61	1.04
12	7	70	2.50	76.00	10.92	2.12	4.56	1.09	23.09	0.61	1.67
13	8	70	3.50	100.00	12.48	2.93	5.36	1.08	23.81	0.61	2.30
14	10	70	5.00	156.00	15.60	4.23	6.45	1.10	22.85	0.61	3.35
15	4	80	0.50	25.00	6.24	0.35	1.84	1.30	16.88	0.43	0.28
16	6	80	1.50	56.00	9.36	0.99	3.12	1.22	19.17	0.43	0.79
17	7	80	2.50	76.00	10.92	1.61	3.97	1.17	20.98	0.43	1.26
18	8	80	3.50	100.00	12.48	2.22	4.67	1.16	21.62	0.43	1.74
19	10	80	5.00	156.00	15.60	3.21	5.61	1.18	20.74	0.43	2.54
20	12	80	6.75	225.00	18.72	4.40	6.57	1.19	20.22	0.43	3.46
21	4	50	0.50	25.00	6.24	0.60	2.42	1.14	17.29	0.82	0.47
22	6	50	1.50	56.00	9.36	1.69	4.07	1.07	19.45	0.83	1.34
23	7	50	2.50	76.00	10.92	2.71	5.16	1.03	21.20	0.83	2.14

Tabla general de resultados II.5.3

N <sup>o</sup>	CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LA ZONA DE AGUAS PROFUNDAS					CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LA ZONA DE ROMPIENTES					
	T	$\alpha_0$	H <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	d <sub>b</sub>	C <sub>b</sub>	K <sub>s</sub>	$\alpha_b$	K <sub>rb</sub>	H <sub>b</sub>
24	8	50	3.50	100.00	12.48	3.75	6.06	1.01	21.85	0.83	2.95
25	4	20	0.50	25.00	6.24	0.67	2.57	1.10	8.09	0.97	0.53
26	6	20	1.50	56.00	9.36	1.91	4.33	1.04	9.11	0.98	1.53
27	7	20	2.50	76.00	10.92	3.08	5.50	1.00	9.92	0.98	2.44
28	8	20	3.50	100.00	12.48	4.26	6.47	0.98	10.21	0.98	3.37

Continuación de la tabla

II.5.3

∴ 1 año = constante =  $365 \times 24 \times 3600 = 31'536\ 000.00$  seg.

∴  $31\ 536\ 000 \times 0.119 \times 10^5 = 37.21$

Este valor se multiplicará por el porcentaje de incidencia en decimales, mostrados en la tabla II.5.1

∴  $Q_s = 37.51 D_{50}^{-1/2} \left( \frac{L_0}{H_0} \right) g H_b^2 T \sin \left( \frac{7}{4} \alpha(b) \right)$  (% de incidencia)

## 2º Método del C.E.R.C.

(Coastal Engineering Research Center)

la fórmula dice.

$$S = 0.25 \times 10^6 H_b^2 Co Kr^2 \text{sen. } \theta_b \cos \theta_b \dots\dots\dots \text{Ecu. 11a}$$

donde:

S = Transporte litoral. en  $m^3/\text{año}$

$H_b$  = Altura de ola en la rompiente, en m.

$Co$  = Celeridad de la ola en aguas profundas, en m/seg.

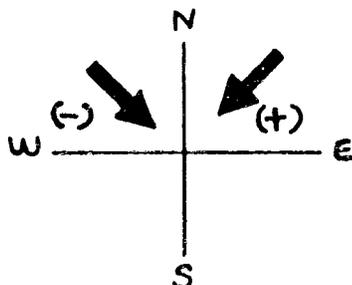
$Kr$  = Coeficiente de refracción en la rompiente, adimensional

$\theta_b$  = Angulo de incidencia del oleaje con respecto a la costa en la rompiente, en grados.

Para este caso, también S, se afectará por el % de incidencia del oleaje.

Con estas dos ecuaciones, se obtendrá el transporte litoral para todas las direcciones con sus distintos períodos y alturas de ola, y al final se hará una  $\sum$  de NE y una  $\sum$  de NW y la diferencia de éstos, será el transporte litoral neto.

Ejem:



El procedimiento es el siguiente :

Ejem. cuando  $T = 4$ ,  $H_o = 0.00 - 1.00$  y 25.2% de incidencia, ver tabla II.5.1 y

$$II.5.3 \quad Q_s = \left[ 37.21 \times (0.00022)^{-1/2} \left( \frac{25.00}{0.50} \right) 9.81 \times 0.54^2 \times 4 \times \text{sen. } \frac{7}{4} - 4.13 \right] 0.252$$

$$Q_s = 45503.986 \text{ m}^3/\text{año} \approx 0.46 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\therefore Q_s = 0.46 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año} \Rightarrow \text{LARRAS} \quad (L)$$

luego;

$$S = \left[ 0.25 \times 10^6 \times 0.54^2 \times 6.24 \times 0.99^2 \text{ sen. } 4.13 \cos 4.13 \right] 0.252$$

$$\therefore S = 8070.586 \text{ m}^3/\text{año} \approx 0.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\therefore S = 0.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{año} \Rightarrow \text{C.E.R.C.} \quad (C)$$

cuanto;  $T = 6$ ,  $H_o = 1.01 - 1.99$  y 11.0%

$$\therefore Q_s = \left[ 37.21 \times (0.00022)^{-1/2} \left( \frac{56.00}{1.50} \right) 9.81 \times 1.54^2 \times 6 \times \text{sen. } \frac{7}{4} - 4.65 \right] 0.11$$

$$Q_s = 203566.74 \text{ m}^3/\text{año} \approx 0.203 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}.$$

luego;

$$S = \left[ 0.25 \times 10^6 \times 1.54^2 \times 9.36 \times 0.99^2 \text{ sen } 4.65 \cos 4.65 \right] 0.11$$

$$S = 48\,343.936 \approx 0.483 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

Estas operaciones se repetirán para todos los casos y para ésto se construirá la tabla II.5.4, donde se obtendrá el transporte litoral neto, por los dos métodos.

$\therefore$  El transporte litoral neto es:

$$\text{Método de Larras} = 1'754\,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Método de CERC} = \underline{417\,000} \text{ m}^3/\text{año}$$

dirección  $E \rightarrow W$

PERIODOS (seg)		4	6	7	8	10	12	$\sum (+)$	$\sum (-)$
ALTURA DE OLA (m)		0.00-1.00	1.01-1.99	2.0-2.99	3.00-3.99	4.00-5.99	6.00-7.50		
DIRECCION	(+) N60°E	L=0.45x10 <sup>5</sup> C=0.081x10 <sup>5</sup>	L=2.03x10 <sup>5</sup> C=0.48x10 <sup>5</sup>	L=2.05x10 <sup>5</sup> C=0.60x10 <sup>5</sup>	L=0.82x10 <sup>5</sup> C=0.25x10 <sup>5</sup>			L=5.35x10 <sup>5</sup> C=1.411x10 <sup>5</sup>	
	(+) N30°E	L=0.51x10 <sup>5</sup> C=0.07x10 <sup>5</sup>	L=2.29x10 <sup>5</sup> C=0.43x10 <sup>5</sup>	L=5.33x10 <sup>5</sup> C=1.26x10 <sup>5</sup>	L=3.64x10 <sup>5</sup> C=0.92x10 <sup>5</sup>	L=4.23x10 <sup>5</sup> C=0.98x10 <sup>5</sup>		L=16x10 <sup>5</sup> C=3.66x10 <sup>5</sup>	
	(+) N	L=0.23x10 <sup>5</sup> C=0.01x10 <sup>5</sup>	L=1.08x10 <sup>5</sup> C=0.10x10 <sup>5</sup>	L=3.41x10 <sup>5</sup> C=0.37x10 <sup>5</sup>	L=3.16x10 <sup>5</sup> C=0.36x10 <sup>5</sup>	L=1.66x10 <sup>5</sup> C=0.17x10 <sup>5</sup>		L=9.54x10 <sup>5</sup> C=1.01x10 <sup>5</sup>	
	(-) N30°W	L=0.11x10 <sup>5</sup> C=0.004x10 <sup>5</sup>	L=0.48x10 <sup>5</sup> C=0.02x10 <sup>5</sup>	L=1.59x10 <sup>5</sup> C=0.08x10 <sup>5</sup>	L=1.46x10 <sup>5</sup> C=0.08x10 <sup>5</sup>	L=2.05x10 <sup>5</sup> C=0.11x10 <sup>5</sup>	L=1.36x10 <sup>5</sup> C=0.06x10 <sup>5</sup>		L=7.05x10 <sup>5</sup> C=0.35x10 <sup>5</sup>
	(-) N60°W	L=0.08x10 <sup>5</sup> C=0.009x10 <sup>5</sup>	L=0.39x10 <sup>5</sup> C=0.06x10 <sup>5</sup>	L=1.16x10 <sup>5</sup> C=0.23x10 <sup>5</sup>	L=0.91x10 <sup>5</sup> C=0.20x10 <sup>5</sup>				L=2.54x10 <sup>5</sup> C=0.50x10 <sup>5</sup>
	(-) N	L=0.05x10 <sup>5</sup> C=0.02x10 <sup>5</sup>	L=0.53x10 <sup>5</sup> C=0.12x10 <sup>5</sup>	L=1.77x10 <sup>5</sup> C=0.50x10 <sup>5</sup>	L=1.38x10 <sup>5</sup> C=0.42x10 <sup>5</sup>				L=3.73x10 <sup>5</sup> C=1.06x10 <sup>5</sup>
DIFERENCIA								L = 17.54 x 10 <sup>5</sup> C = 4.17 x 10 <sup>5</sup>	

57

TABLA II.5.4

REGIMEN ANUAL DE TRANSPORTE LITORAL PARA FRONTERA TAB., APLICANDO LOS METODOS; LARRAS y CIRC. LAS UNIDADES ESTAN EN m<sup>3</sup>/año.

El procedimiento es el siguiente :

Ejem. cuando  $T = 4$ ,  $H_o = 0.00 - 1.00$  y 25.2% de incidencia, ver tabla II.5.1 y

$$Q_s = \left[ 37.21 \times (0.00022)^{-1/2} \left( \frac{25.00}{0.50} \right) 9.81 \times 0.54^2 \times 4 \times \text{sen. } \frac{7}{4} - 4.13 \right] 0.252$$

$$Q_s = 45503.986 \text{ m}^3/\text{año} \approx 0.46 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\therefore Q_s = 0.45 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año} \Rightarrow \text{LARRAS} \quad (L)$$

luego:

$$S = \left[ 0.25 \times 10^6 \times 0.54^2 \times 6.24 \times 0.99^2 \text{ sen. } 4.13 \cos 4.13 \right] 0.252$$

$$\therefore S = 8070.586 \text{ m}^3/\text{año} \approx 0.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\therefore S = 0.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{año} \Rightarrow \text{C.E.R.C.} \quad (C)$$

cuanto;  $T = 6$ ,  $H_o = 1.01 - 1.99$  y 11.0%

$$\therefore Q_s = \left[ 37.21 \times (0.00022)^{1/2} \left( \frac{56.00}{1.50} \right) 9.81 \times 1.54^2 \times 6 \times \text{sen } \frac{7}{4} - 4.65 \right] 0.11$$

$$Q_s = 203566.74 \text{ m}^3/\text{año} \approx 0.203 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}.$$

luego;

$$S = \left[ 0.25 \times 10^6 \times 1.54^2 \times 9.36 \times 0.99^2 \text{ sen } 4.65 \cos 4.65 \right] 0.11$$

$$S = 48\,343.936 \approx 0.483 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

Estas operaciones se repetirán para todos los casos y para ésto se construirá la tabla II.5.4, donde se obtendrá el transporte litoral neto, por los dos métodos.

$\therefore$  El transporte litoral neto es:

$$\text{Método de Larras} = 1'754\,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Método de CERC} = \underline{417\,000} \text{ m}^3/\text{año}$$

dirección  $E \rightarrow W$

∴ 1 año = constante = 365 x 24 x 3600 = 31'536 000.00 seg.

∴ 31 536 000 x 0.119 x 10<sup>5</sup> = 37.21

Este valor se multiplicará por el porcentaje de incidencia en decimales, mostrados en la tabla II.5.1

∴  $Q_s = 37.51 D_{50}^{-1/2} \left( \frac{L_o}{H_o} \right) g H_b^2 T \text{ sen} \left( \frac{7}{4} \alpha_b \right)$  (% de incidencia)

## 2º Método del C.E.R.C.

( Coastal Engineering Research Center)

la fórmula dice.

$$S = 0.25 \times 10^6 H_b^2 Co Kr^2 \text{ sen. } \theta_b \cos \theta_b \dots\dots\dots \text{Ecu. 11a}$$

donde:

S = Transporte litoral. en m<sup>3</sup>/año

H<sub>b</sub> = Altura de ola en la rompiente, en m.

Co = Celeridad de la ola en aguas profundas, en m/seg.

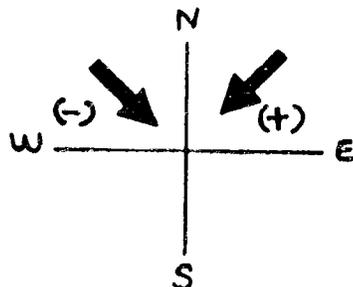
Kr = Coeficiente de refracción en la rompiente, adimensional

θ<sub>b</sub> = Angulo de incidencia del oleaje con respecto a la costa en la rompiente, en grados.

Para este caso, también S, se afectará por el % de incidencia del oleaje.

Con estas dos ecuaciones, se obtendrá el transporte litoral para todas las direcciones con sus distintos períodos y alturas de ola, y al final se hará una  $\sum$  de NE y una  $\sum$  de NW y la diferencia de éstos, será el transporte litoral neto.

Ejem:



El procedimiento es el siguiente :

Ejem. cuando  $T = 4$ ,  $H_o = 0.00 - 1.00$  y 25.2% de incidencia, ver tabla II.5.1 y

$$II.5.3 \quad Q_s = \left[ 37.21 \times (0.00022)^{-1/2} \left( \frac{25.00}{0.50} \right) 9.81 \times 0.54^2 \times 4 \times \text{sen. } \frac{7}{4} - 4.13 \right] 0.252$$

$$Q_s = 45503.986 \text{ m}^3/\text{año} \simeq 0.46 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\therefore Q_s = 0.45 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año} \Rightarrow \text{LARRAS} \quad (L)$$

luego;

$$S = \left[ 0.25 \times 10^6 \times 0.54^2 \times 6.24 \times 0.99^2 \text{ sen. } 4.13 \cos 4.13 \right] 0.252$$

$$\therefore S = 8070.586 \text{ m}^3/\text{año} \simeq 0.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\therefore S = 0.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{año} \Rightarrow \text{C.E.R.C.} \quad (C)$$

cuanto;  $T = 6$ ,  $H_o = 1.01 - 1.99$  y 11.0%

$$\therefore Q_s = \left[ 37.21 \times (0.00022)^{1/2} \left( \frac{56.00}{1.50} \right) 9.81 \times 1.54^2 \times 6 \times \text{sen } \frac{7}{4} - 4.65 \right] 0.11$$

$$Q_s = 203566.74 \text{ m}^3/\text{año} \simeq 0.203 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}.$$

luego;

$$S = \left[ 0.25 \times 10^6 \times 1.54^2 \times 9.36 \times 0.99^2 \text{ sen } 4.65 \cos 4.65 \right] 0.11$$

$$S = 48343.936 \simeq 0.483 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

Estas operaciones se repetirán para todos los casos y para ésto se construirá la tabla II.5.4, donde se obtendrá el transporte litoral neto, por los dos métodos.

$\therefore$  El transporte litoral neto es:

$$\text{Método de Larras} = 1'754\ 000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Método de CERC} = \underline{417\ 000} \text{ m}^3/\text{año}$$

dirección  $E \rightarrow W$

PERIODOS (seg)		4	6	7	8	10	12	$\Sigma (+)$	$\Sigma (-)$
ALTURA DE OLA (m)		0.00-1.00	1.01-1.99	2.0-2.99	3.00-3.99	4.00-5.99	6.00-7.50		
DIRECCION	(+) N60°E	L=0.45x10 <sup>5</sup> C=0.081x10 <sup>5</sup>	L=2.03x10 <sup>5</sup> C=0.48x10 <sup>5</sup>	L=2.05x10 <sup>5</sup> C=0.60x10 <sup>5</sup>	L=0.82x10 <sup>5</sup> C=0.25x10 <sup>5</sup>			L=5.35x10 <sup>5</sup> C=1.411x10 <sup>5</sup>	
	(+) N30°E	L=0.51x10 <sup>5</sup> C=0.07x10 <sup>5</sup>	L=2.29x10 <sup>5</sup> C=0.43x10 <sup>5</sup>	L=5.33x10 <sup>5</sup> C=1.26x10 <sup>5</sup>	L=3.64x10 <sup>5</sup> C=0.92x10 <sup>5</sup>	L=4.23x10 <sup>5</sup> C=0.98x10 <sup>5</sup>		L=16x10 <sup>5</sup> C=3.66x10 <sup>5</sup>	
	(+) N	L=0.23x10 <sup>5</sup> C=0.01x10 <sup>5</sup>	L=1.08x10 <sup>5</sup> C=0.10x10 <sup>5</sup>	L=3.41x10 <sup>5</sup> C=0.37x10 <sup>5</sup>	L=3.16x10 <sup>5</sup> C=0.36x10 <sup>5</sup>	L=1.66x10 <sup>5</sup> C=0.17x10 <sup>5</sup>		L=9.54x10 <sup>5</sup> C=1.01x10 <sup>5</sup>	
	(-) N30°W	L=0.11x10 <sup>5</sup> C=0.004x10 <sup>5</sup>	L=0.48x10 <sup>5</sup> C=0.02x10 <sup>5</sup>	L=1.59x10 <sup>5</sup> C=0.08x10 <sup>5</sup>	L=1.46x10 <sup>5</sup> C=0.08x10 <sup>5</sup>	L=2.05x10 <sup>5</sup> C=0.11x10 <sup>5</sup>	L=1.36x10 <sup>5</sup> C=0.06x10 <sup>5</sup>		L=7.05x10 <sup>5</sup> C=0.35x10 <sup>5</sup>
	(-) N60°W	L=0.08x10 <sup>5</sup> C=0.009x10 <sup>5</sup>	L=0.39x10 <sup>5</sup> C=0.06x10 <sup>5</sup>	L=1.16x10 <sup>5</sup> C=0.23x10 <sup>5</sup>	L=0.91x10 <sup>5</sup> C=0.20x10 <sup>5</sup>				L=2.54x10 <sup>5</sup> C=0.50x10 <sup>5</sup>
(-) S	L=0.05x10 <sup>5</sup> C=0.02x10 <sup>5</sup>	L=0.53x10 <sup>5</sup> C=0.12x10 <sup>5</sup>	L=1.77x10 <sup>5</sup> C=0.50x10 <sup>5</sup>	L=1.38x10 <sup>5</sup> C=0.42x10 <sup>5</sup>				L=3.73x10 <sup>5</sup> C=1.06x10 <sup>5</sup>	
DIFERENCIA								L = 17.54 x 10 <sup>5</sup> C = 4.17 x 10 <sup>5</sup>	

57

TABLA II.5.4

REGIMEN ANUAL DE TRANSPORTE LITORAL PARA FRONTERA, TAB., APLICANDO LOS METODOS; LARRAS y CIRC. LAS UNIDADES ESTAN EN m<sup>3</sup>/año.

Como se puede observar, en los resultados del transporte litoral, existe una diferencia muy grande entre los métodos aplicados. El método de Larrás lo eliminaremos ya que resulta ilógico, y tomaremos como bueno, el obtenido por el método del CERC, ya que éste resulta un poco mas confiable.

### CAPITULO III. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Se plantearán tres alternativas de solución, haciendo un análisis de lo funcional y lo económico, para poder definir cual de las tres alternativas conviene construir.

#### III.1 Planteamiento de alternativas.

Para el planteamiento de alternativas, se tomó como base los planos del análisis de refracción y el transporte litoral neto, porque son fenómenos muy importantes en este tipo de decisiones. Las alternativas son las siguientes: ( Ver plano del mismo nombre ).

1º Alternativa.- Consiste en ampliar y prolongar el canal lateral, acondicionándolo para canal de navegación, esto quiere decir, que se hará un trabajo de dragado para dar ancho y profundidad requeridos, para el tránsito de embarcaciones. Considerando que las embarcaciones serán de tipo pesquero y teniendo un calado de 4.10 m más un resguardo bajo quilla de 1.40 para tener una profundidad total de 5.50 m. La longitud necesaria para el canal de navegación, es de aproximadamente 3.25km.

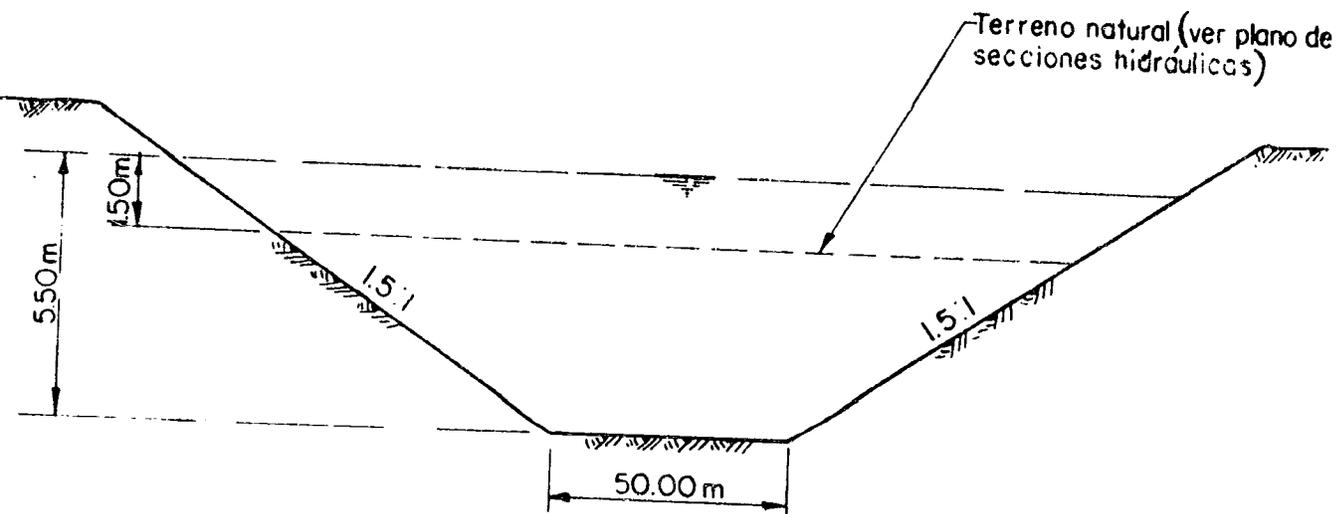
También será necesario, construir escolleras, hasta la cota - 5.50 m SNBM. Teniendo 470 m. cada una; las escolleras serán paralelas entre sí, teniendo una separación de 210 m y los materiales constructivos serán de: cubos modificados de concreto en la coraza, roca natural en la capa secundaria y en el cuerpo del núcleo.

Estas escolleras se proponen para proteger el acceso al canal, contra las corrientes litorales y el azolvamiento del canal, así como para garantizar la profundidad requerida de 5.50 m.

En esta alternativa, se tendrá una inversión a corto plazo, que sería el dragado para el canal y la construcción de las escolleras. Así como también gastos a largo plazo por mantenimiento, como es el dragado periódicamente y los daños que sufran las escolleras.

El problema de esta alternativa, es que no presenta una solución estable, principalmente para el río, por el hecho de que éste, puede perder su cauce natural y como consecuencia se corre el peligro de desestabilizar la barra.

Costo aproximado de obra, en base a una sección propuesta para canal de navegación y para las escolleras.

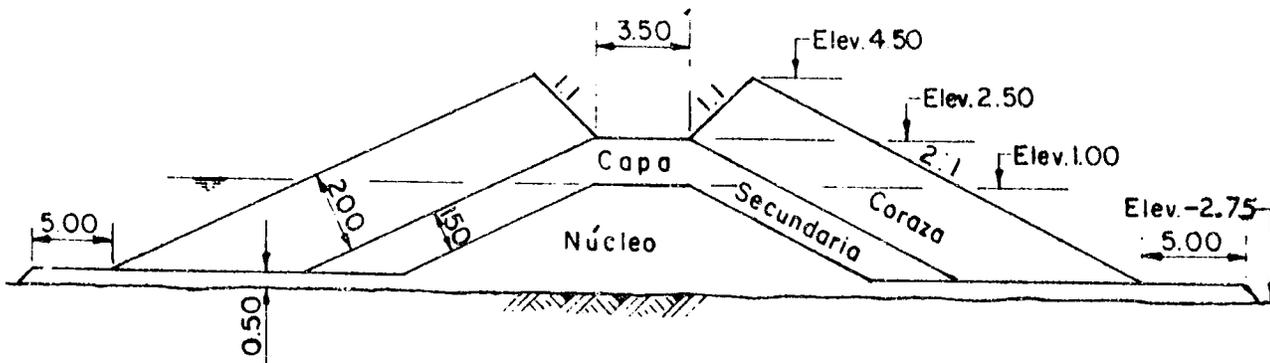


SECCION CANAL DE NAVEGACION  
( PROPUESTA )

$$L = 3.25 \text{ km} + 0.470 = 3.72 \text{ km.}$$

$$A \text{ exc.} = 224.00 \text{ m}^2$$

$$\therefore \text{Vol. exc.} = 883\,280.00 \text{ m}^3$$



SECCION ESCOLLERA  
( PROPUESTA )

NOTA: Se propone a la elev. -2.75 para que sea promedio entre morro y tronco.

La escollera no llevará coraza del lado del canal de navegación excepto en el tramo del morro.

Se cubicará el volumen para 1.00 ml para obtener el costo por ml de escollera.

Coraza; Vol. =  $36.34 \text{ m}^3$

Capa sec. vol. =  $30.19 \text{ m}^3$

Núcleo + delantales, vol. =  $52.29 \text{ m}^3$

Como los tres concretos se pagan en ton. entonces las cantidades se dividirán entre su densidad, considerando =  $2.2 \text{ ton/m}^3$ .

$$\therefore \text{Coraza} = 36.34 \text{ m}^3 \div 2.2 \text{ ton/m}^3 = 16.52 \text{ ton.}$$

$$\text{Cap. sec.} = 30.19 \text{ m}^3 \div 2.2 \text{ ton/m}^3 = 13.72 \checkmark$$

$$\text{Núcleo} = 52.29 \text{ m}^3 \div 2.2 \text{ ton/m}^3 = 23.77 \checkmark$$

∴ Costo por metro lineal

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
Coraza	ton	16.52	22 000	363 400
Capa sec.	ton	13.72	19 000	260 680
Núcleo	ton	23.77	18 000	427 860

TOTAL = 1'051,940 \$/ml.

NOTAS: Los P.U. fueron proporcionados por la Dirección General de Obras Marítimas, Departamento de Precios Unitarios; Enero de 1987

El P.U. es puesto en obra, incluye explotación de barco y acarrero

El metro cúbico de dragado = 1 dólar americano = \$ 1 300.00

De esta forma se puede obtener el costo aproximado para la alternativa No.1 y las alternativas subsecuentes.

∴ COSTO APROXIMADO

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
Dragado	m <sup>3</sup>	883 280	1 300	1 148'264 000
Escolleras	ml	940	1 051 940	988 823 600

SUMA 2 137'087 600

+ 1 % IMPREVISTOS = 21'370 876

COSTO TOTAL=\$2 158'458 476

2a. Alternativa.- Consiste en rehabilitar el canal existente, entre la Isla Azteca y la Punta Brey, acondicionándolo para canal de navegación, para ésto, será necesario hacer un trabajo de dragado para dar ancho y profundidad requeridos, para el tránsito de las embarcaciones de las mismas características propuestas en la 1a. alternativa. La longitud necesaria para el canal de navegación es de aproximadamente 700 m.

También será necesario, construir escolleras, hasta la cota -5.50 m. Teniendo 650 m. cada una; las escolleras serán paralelas entre sí, teniendo una separación de 380 m. y los materiales constructivos serán de: cubos modificados en la coraza, roca natural en la capa secundaria y en el cuerpo del núcleo. Estas escolleras serán con el mismo objeto de la 1a. alternativa. En esta alternativa, se requieren trabajos de dragado, para acondicionar el canal de navegación, durante la construcción de las escolleras. Así como también gastos a largo plazo, como es el dragado de mantenimiento y los daños que sufran las escolleras.

Esta alternativa no garantiza el autdragado del río, por su geometría de la misma con respecto a la Isla Azteca, además que la escollera Norte, presentaría problemas de no empotramiento perfecto con la isla Azteca, ya que ésta, es inestable debido a su formación con sedimentos del río y el transporte litoral. Por otra parte el cauce del río tendría problemas de desembocar libremente, presentando el mismo fenómeno de la 1a. alternativa, que es de desestabilizar la barra.

Para obtener el costo aproximado de esta alternativa, se utilizará el mismo criterio que la anterior.

## . . COSTO APROXIMADO

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
Escollera	ml.	1 400	1 051 940	1 472'716 000
Dragado	m <sup>3</sup>	900 000	1 300	1 170'000 000

SUMA = 2 642'716 000

+ 1% IMPREVISTOS = 26'427 160

. . COSTO SUBTOTAL = 2 669'143 160

3a. Alternativa.- Consiste en encausar el río hacia el fondo del mar, con la construcción de escolleras de 3800 m. de longitud (Oeste). y 2800 m. ( Este). Prolongándose hasta la cota - 3.00, pero pasando por la cota - 5.00 y-4.00. Las características de las escolleras es que en el morro tienden a converger, debido a la línea de costa ( Este ) y a la isla Azteca ( Oeste ). Los materiales constructivos serán igual a los de la 1ª y 2a. Alternativa.

Esta alternativa es la más funcional con respecto a las otras dos, por que ésta si garantiza el autdragado del río y así aprovecharlo para canal de navegación. Por otra parte ayuda a estabilizar la desembocadura del río, en cuanto a su formación de pequeños islotes que obstruyen el acceso al puerto de Frontera,Tab.

## COSTO APROXIMADO

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
Escolleras	ml.	6 600	1'051 940	6 942'804 000

SUMA 4 498'560 000

+ 1% IMPREVISTOS = 69'428 040

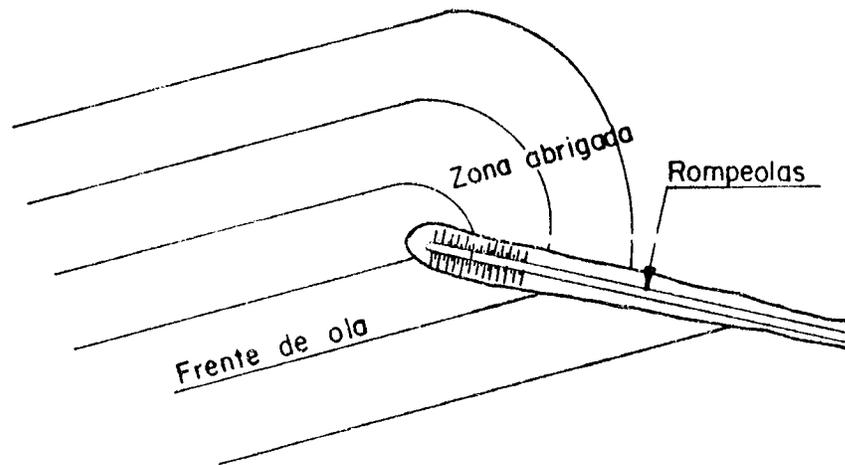
COSTO TOTAL = 7 012'232 040

Fenómeno de difracción que podría presentarse para las tres alternativas.

Cuando el oleaje encuentra un obstáculo que se interpone en su propagación, se lleva a cabo un fenómeno de transferencia de la energía de unas zonas a otras, llamado "difracción".

Los obstáculos pueden ser naturales o artificiales, como son diques, playas, escolleras etc...

Es obvio, que la expansión, ondas circulares y disminución de altura de ola consecuente, se verifica en el lado abrigado por la barrera, o sea en el antepuerto, hecho de gran importancia, pues esa fluctuación de alturas de ola, define la zona en que podrán fondear las embarcaciones.



EFFECTO DE DIFRACCION EN UN ROMPEOLAS

Naturalmente que la forma de expansión será diferente en cada caso, de acuerdo a la forma y disposición de la barrera. Si se trazan líneas que unieran los puntos de igual altura de ola, el dibujo resultante tendría semejanza con un plano de curvas de nivel.

El fenómeno de difracción, es mas apreciable al interior de un puerto, por el posible fondeo de las embarcaciones. Para nuestro caso es diferente, éste fenómeno podría afectar únicamente el acceso al canal de navegación. Y además las escolleras se diseñan para una cierta altura de ola. al presentarse éste fenómeno, la altura se reduce. Con este, criterio se eliminará el estudio a detalle de este fenómeno para las tres alternativas.

### III.2 Alternativa más adecuada.

Para definir cual de las alternativas es más adecuada intervienen dos factores fundamentales:

- 1ª Lo económico
- 2ª Lo funcional

Dentro de lo económico, podemos hablar de inversiones a corto y largo plazo. Y dentro de lo funcional podemos hablar de estabilidad de la desembocadura o duración de las escolleras en base a un período de retorno. En base a las alternativas planteadas y los costos aproximados se hará el siguiente análisis.

Como se puede observar, la 1a. alternativa es una de las que presenta menor costo de inversión, pero se requerirá mantenimiento al canal de navegación, dragándolo periódicamente para mantener una profundidad constante, y facilitar el tráfico marítimo. En cuanto a lo funcional, se piensa que no resuelve el objetivo planteado, debido a la geometría del canal y por otra parte puede ocasionar más inestabilidad en la desembocadura del río.

La 2a. alternativa, se compara con la 1a. en costo, pero faltaría adicionarle el costo del dragado, para acondicionar el canal de navegación, que vendría siendo mayor en costo que la 1a. alternativa. En cuanto a lo funcional, esta alternativa puede solucionar el objetivo planteado, pero su desventaja es que la escollera (Este), no garantiza un empotramiento perfecto en la isla Azteca, debido a su formación de la misma. Se piensa que la formación de la isla Azteca es la base del azolve del río y el transporte litoral.

La alternativa que mayor costo presenta es la 3a., con respecto a las otras dos y esto es debido a la gran longitud que tienen las escolleras. Pero en lo funcional es la que más se aproxima al diseño óptimo del objetivo planteado. Y no presenta problemas de empotramiento, ni de desestabilizar la desembocadura del río.

Ahora bien, para poder decidir cual conviene construir, es necesario hacer incapié en lo económico y lo funcional.

Lo económico, depende directamente de las condiciones económicas del país, por que se puede decir que se construya tal o cual alternativa, pero simplemente no hay presupuesto.

Para fines de este trabajo, y desde el punto de vista de ingeniería la solución más adecuada es la 3a. alternativa. Aunque cabe mencionar que es necesario verificar el alineamiento en planta, por medio de un modelo hidráulico a escala.

## CAPITULO IV. DISEÑO OPTIMO DE LAS ESCOLLERAS

En este capítulo se definirá el alineamiento en planta, de tal forma que forme un canal autodragable y suficiente para el tráfico marítimo. Además se diseñará la sección transversal de escollera en el morro y en el tronco.

## Alineamiento en planta

El alineamiento de las escolleras consiste en desviar un poco el cauce natural del río, de la Isla Azteca, y en el morro reducir la sección del río, para garantizar el autodragado, considerando que las velocidades del flujo aumentarán de 1.33 a 2.00 m/seg. aproximadamente. Así como también cuidando el fenómeno de refracción y el transporte litoral que se presenta.

( Ver planos de refracción ).

Las coordenadas de los vértices son los siguientes:

VERTICE	C O O R D E N A D A S		RUMBO	DISTANCIA
	X	Y		
V <sub>1</sub>	32 622.000	84 670.000	13°30'23" NW	3 800.00
V <sub>2</sub>	31 734.500	88 364.907	19°46'10" NW	2 800.00
V <sub>3</sub>	33 048.000	85 980.000		
V <sub>4</sub>	32 100.933	88 614.969		

NOTA: El capítulo IV será únicamente para la 3a. alternativa.

Longitud necesaria.- La longitud necesaria de las escolleras, se definió en base a la profundidad del agua, que debe garantizar un colchón mínimo para el tráfico marítimo, por que no es conveniente, que el calado de los barcos asiente al nivel del terreno. Por otra parte, la longitud depende de la isla Azteca ( Oeste ) y de la línea de costa ( Este ); la consideración es de que deben sobresalir estos dos parámetros para el buen funcionamiento y no se vean directamente afectadas por el transporte litoral.

#### IV. 1 Diseño de la sección constructiva.

Como se observa en las fig, I.3.2 , fig. I.3.3 , fig.I.3.4 y fig. 1.3.5 del capítulo I las escolleras estan formadas por las siguientes partes:

- Coraza.- Es la parte exterior de la estructura y está formada por una o dos capas de elementos de concreto o roca natural: los que deben resistir la acción directa del oleaje.
- Capa secundaria.- Sirve para soportar los elementos de la coraza y además como filtro para evitar que salgan los elementos de la capa en que se apoya.
- Núcleo.- Sirve como soporte y relleno a la estructura y es de tipo masivo.
- Delantales.- Su objetivo es proteger la escollera contra la socavación al pie de la misma: se recomienda que su espesor (e) sea  $\geq 50$  cm. y su longitud (L)  $\geq 5.00$  m. en el lado expuesto al oleaje y entre 1.50 a 2.00 m. en el lado protegido. Los delantales nunca deben evitarse, dado que es el elemento que mayor seguridad le dá a la obra.
- Filtro y apoyo.- Se utiliza para evitar el hundimiento de las piedras durante la construcción debido a las corrientes y el oleaje. También evita que la arena del fondo sea succionada y extraída de entre los huecos dejados por las

rocas, cuando se presentan grandes tormentas. De ocurrir lo anterior se propicia el hundimiento o deslizamiento de algunas zonas de la estructura. El filtro puede evitarse en ocasiones, ya que los delantales pueden funcionar como protección que evite la extracción y movimiento de la arena sobre la que se apoya la obra.

En el diseño de una escollera debe obtenerse la geometría de las diversas secciones transversales a lo largo de la estructura y el peso de los elementos que forman cada capa y el núcleo.

Los principales factores a tomar en cuenta en el diseño y los datos necesarios en el mismo son:

- 1<sup>o</sup> Características del oleaje de diseño en aguas profundas asociado a un período de retorno, generalmente la altura y período de la ola significativa.
- 2<sup>o</sup> Fenómeno de refracción cerca de la estructura e influenciado por la batimetría ( Ver planos de refracción)
- 3<sup>o</sup> Definir si la altura de ola frente a la estructura es rompiente o no rompiente.
- 4<sup>o</sup> Localización de los bancos de roca. Distancia de estos a la obra, peso específico de la roca y tamaño de los mayores bloques que es posible extraer.
- 5<sup>o</sup> Si se utilizan elementos artificiales, se debe conocer la forma de los mismos y el peso específico del concreto.
- 6<sup>o</sup> Peso específico del agua en que la estructura estará sumergida
- 7<sup>o</sup> Selección de un ángulo de inclinación ( talud) de la obra.
- 8<sup>o</sup> Forma en que se colocarán los elementos de la coraza ya sea acomodado o al azar.
- 9<sup>o</sup> Si la sección por diseñar pertenece al tronco o al morro.

En base a estos factores se procederá al diseño correspondiente.

Coraza.

La fórmula más usada para calcular el peso de los elementos, es la propuesta por Hudson.

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{KD (S_s - 1)^3 \cot \theta} \text{ Ecu. 12}$$

Donde:

$W$  = peso de un elemento en la coraza, en ton.f.

$\gamma_s$  = peso específico del elemento que va a formar la coraza en  $\text{ton/m}^3$

$S_s$  = densidad de sólidos, igual a  $\gamma_s / \gamma$ , siendo  $\gamma$  el peso específico del agua, en el cual estará inmersa la escollera, adimensional.

$H$  = altura de la ola de diseño frente a una sección o tramo de escollera, en m. Se trabaja con la ola significativa.

$\theta$  = ángulo del talud de la estructura con respecto a la horizontal en grados.

$KD$  = Coeficiente de estabilidad que se obtiene de la tabla IV.3.1

Datos de diseño:

$\gamma_s = 2.2 \text{ ton/m}^3$ . se proponen cubos de concreto ya que es difícil encontrar canteras suficientes en la región.

$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma} = 2.14$ ,  $\gamma = 1.03 \text{ ton/m}^3 = \frac{2.2}{2.14} = 1.03$

$H$  = Se utilizará la altura de ola en la rompiente, y se calcula de la siguiente forma; de la gráfica IV.3.2 se entra con  $\frac{ds}{gt^2}$  y  $m$ ;

obteniéndose  $\frac{H_b}{ds}$

donde:

$ds$  = nivel de desplante de la escollera

$g$  = aceleración de la gravedad,  $\text{m/seg.}^2$

$t$  = período seg.

$m$  = pendiente inmediata a la estructura

$H_b$  = altura de ola de diseño

$\therefore ds = -3.00$

$g = 9.81 \text{ m/seg.}^2$

$t = 9 \text{ seg.}$

$m = 0.00136$ , Ver plano de Planteamiento de alternativas.

TABLA IV 3.1 Valores recomendados de  $K_D$  para terminar el peso de las unidades de coraza ( criterio sin daño y mínima roci6n, segun CERC.

Tipo de elementos en la coraza.	n(1)	Colocaci6n	Cuerpo (tronco) de la escollera $K_D(4)$		Morro de la escollera $K_D$		Talud cot $\theta$
			Ola rompiente	Ola no rompiente	Ola rompiente	Ola no rompiente	
Roca de cantera							
Lisa y redondeada	2	Azar	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 a 3.0
Lisa y redondeada	>3	Azar	2.0	3.2	2.1	2.3	(5)
Rugosa y angulosa	1	Azar(2)	(2)	2.9	(2)	2.3	(5)
Rugosa y angulosa	2	Azar	3.5	4.0	2.9 2.5 2.0	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Rugosa y angulosa	>3	Azar	3.9	4.5	3.7	4.2	(5)
	2	Especial(3)	4.8	5.5	3.5	4.5	(5)
Tetrápodo y Cuadrípodo	2	Azar	7.2	8.3	5.9 5.5 3.7	6.6 6.1 4.1	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Azar	9.0	10.4	8.3 7.8 7.0	9.0 8.5 7.7	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Azar	22.0(6)	25.0(6)	15.0 13.5	16.5 15.0	2.0(7) 3.0
Cubo modificado	2	Azar	6.8	7.8	--	5.0	(5)
Hexápodo	2	Azar	8.2	9.5	5.0	7.0	(5)
Tribar	1	Uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	(5)

(1) Número de elementos de la capa de coraza: generalmente se utilizan dos o tres.

- (2) El uso de una capa de coraza formada con un solo elemento de roca sujeta a olas rompientes no es recomendada y sólo bajo condiciones especiales para olas no rompientes. Cuando se emplee las rocas se deben colocar cuidadosamente.
- (3) Colocación especial con el eje longitudinal de la roca puesto en dirección perpendicular al paramento de la escollera
- (4) Aplicable en taludes comprendidos entre 1.5:1 y 5:1
- (5) Hasta no tener más información disponible acerca de la variación de  $K_D$  con respecto al talud, el uso de  $K_D$  deberá limitarse a taludes comprendidos entre 1.5:1 y 3:1. Esto se debe a que los resultados de algunas pruebas indican dependencia del valor de  $K_D$  con el talud.
- (6) Datos disponibles únicamente para taludes 2:1
- (7) Pendientes mayores de 2:1 no son recomendables en la actualidad

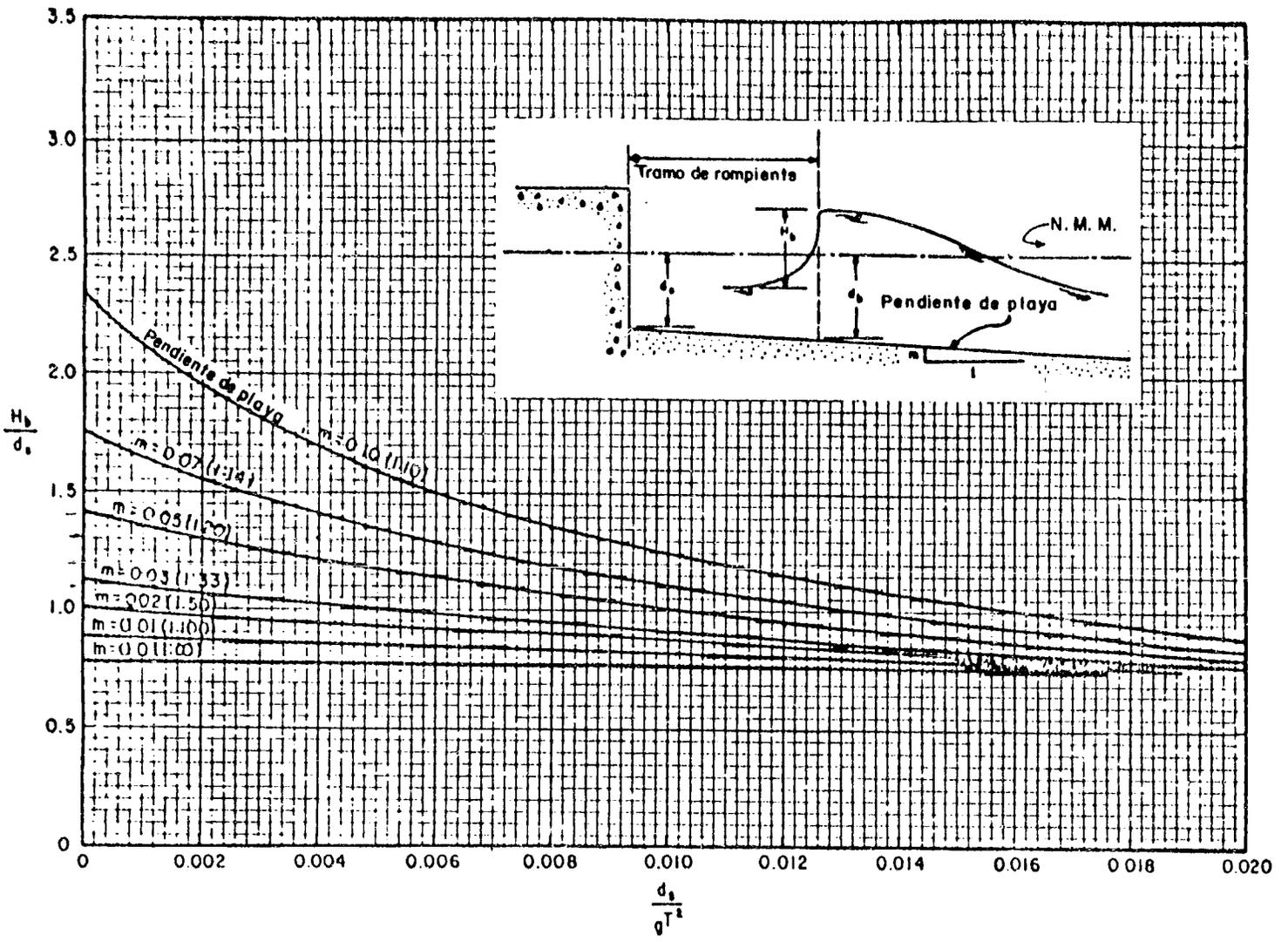
$$\therefore \frac{ds}{gt^2} = \frac{3}{9.81 \times 9^2} = 0.004, \quad m = 0.00136, \text{ de la gráfica IV 3.2}$$

$$\text{se obtiene } \frac{H_b}{ds} = 0.78 \therefore H_b = 0.78 \times 3 = \frac{2.34}{\quad} \text{ m.}$$

NOTA: No se utiliza la altura de ola calculada en la zona de generación; en la zona de rompientes ni dentro de un huracán. Por que la estructura está ubicada en aguas someras.

$$\theta = 26.56^\circ \text{ talud } 2:1, \text{ cotag. } \frac{1}{\text{tag.}} = \frac{1}{0.5} = 2$$

$K_D = 5.00$  de acuerdo a la tabla IV 3.1 para ola no rompiente en el morro, siendo cubo modificado y  $K_D = 7.8$  en el tronco.



Gráfica IV.3.2. Dimensionamiento de la altura de ola de diseño con respecto al nivel de desplante de la estructura.

∴ El peso de los elementos de la coraza en el morro será:

$$w = \frac{2.2 \text{ ton/m}^3 \times (2.34 \text{ m})}{5.00 (2.14-1)^3} = 1.90 \text{ ton.} \approx 2.00 \text{ ton.}$$

∴ Si se utilizan cubos de ( 1.00 x 1.00 x 1.00 m ), se tiene un peso;

$$w = 1.00^3 \times 2.20 = 2.2 > 2.00 \text{ ton}$$

∴ Los cubos en la coraza en la sección del morro serán; de 2.2 ton. f

NOTA: La longitud del morro será de 50.00m.

La capa secundaria queda definida en base a la tabla IV 3.3.

$$\frac{w}{10} = \frac{2200}{10} = 220 \text{ Kgf. se utilizará roca}$$

El cuerpo del núcleo y los delantales queda definido en base a la tabla IV 3.3.

$$\frac{w}{200} \text{ a } \frac{w}{4000} = \frac{2200}{200} \text{ a } \frac{2200}{4000} = 11.00 \text{ a } 0.55 \text{ kg.}$$

∴ Se utilizará roca de 1.5 a 11.00 kpf.

Cálculo del ancho de la corona.

El ancho mínimo de la coraza y la capa secundaria, se determina mediante la formula:

$$B = n k \Delta \left( \frac{w}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad \text{Ecu. 13}$$

Donde:

B = ancho de la corona en m .

n = No. de elementos: el máximo recomendado es 3

$k\Delta$  = Coef. de capa se obtiene de la tabla IV 3.4

w = peso de un elemento en la corona en kpf.

$\gamma_s$  = peso específico de un elemento ton/m<sup>3</sup>

∴ si elegimos:

Tabla IV.3.3 Graduación de tamaños, según el CERC

Capa o zona	Peso teórico	Pesos reales comprendidos entre
Coraza	$W$	$(1.25 \text{ y } 0.75)W$
	$\frac{W}{2}$	$(1.25 \text{ y } 0.75)\frac{W}{2}$
Secundaria	$\frac{W}{10}$	$(1.30 \text{ y } 0.70)\frac{W}{10}$
	$\frac{W}{20}$	$(1.30 \text{ y } 0.70)\frac{W}{20}$
Núcleo	$\frac{W}{200}$ y $\frac{W}{4000}$	$\frac{W}{200}$ y $\frac{W}{4000}$
	$\frac{W}{200}$ y $\frac{W}{6000}$	$\frac{W}{200}$ y $\frac{W}{6000}$

$$n = 3$$

$$K\Delta = 1.10$$

$$\therefore B = 3 \times 1.10 \left( \frac{2200}{2200} \right)^{1/3} = 3.30 \text{ m.}$$

$\therefore B$  se acentará de 3.50 m. para coraza.

$R_2$  para capa secundaria

$$n = 2$$

$$K\Delta = 1.15$$

$$\text{se tiene } R = 2 \times 1.15 \left( \frac{220}{2200} \right)^{1/3} = 1.07$$

Por ancho mínimo, será de 3.50 m para que el ancho del núcleo sea  $\geq 2.80$  m. para construcción.

NOTA: El proceso constructivo de las escolleras se basará en el ancho del núcleo : el cual tendrá un ancho mínimo de 2.80 m.

Elevación de la corona

La elevación de la corona depende de los espesores del núcleo, capa secundaria y la coraza.

De acuerdo a las tablas de predicción de mareas astronómicas se tienen los siguientes niveles en el Puerto de Frontera Tab.

Nivel de pleamar máx. registrada N.P. Max.	---	= 0.857 m
Nivel de pleamar medio N.P.M.	- - - - -	= 0.287 m
Nivel medio del mar N.M.M.	- - - - -	= 0.000 m
Nivel de baja mar medio N.B.M.	- - - - -	= -0.036 m
Nivel de baja mar mínimo registrada N.B.Min.	- - - - -	= -0.381 m.

NOTA: Estos niveles fueron tomados de las tablas de predicción de mareas astronómicas del Puerto de Frontera Tab. año 1986: Editado por el Instituto de Geofísica, UNAM.

Ajustando niveles tenemos que

$$N.B.M. = 0$$

- . . N.M.M. = + 0.036
- N.P.M. = + 0.323
- N.P.Máx = + 0.893

- . . La elev. mín. del núcleo puede ser de +0.893 m. pero se ajustará a la cota + 1.00

Espesor de la coraza y de la capa secundaria y número de elementos de la coraza.

El espesor E, de la coraza o de la capa secundaria, se determina con una ecuación, semejante a la ecuación 13, pero en la que n ahora es número de capas, que forman al espesor y que generalmente es igual a 2.

$$E = n K \Delta \left( \frac{w}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad \dots \quad \text{Ecu. 14}$$

$$N = n K \Delta \left( 1 - \frac{p}{100} \right) \left( \frac{\gamma_s}{w} \right)^{2/3} A \quad \dots \quad \text{Ecu. 15}$$

donde:

N = No. de elementos

A = Área de la capa: generalmente se escoge un área unitaria de 10 a 100 m<sup>2</sup>.

n = Número de elementos que forman la capa

p = Porosidad en porcentaje, se obtiene de la tabla IV 3.4

w = Peso de los elementos que forman la coraza.

- . . El espesor de la coraza será :

si n = 2

$$K \Delta = 1.10 \quad \dots \quad E = 2 \times 1.10 \left( \frac{2200}{2200} \right)^{1/3} = 2.20 \text{ m.}$$

- . . E. se aceptará de 2.20 m.

TABLA IV 3.4 Coeficiente de capa y porosidad de varios tipos de elementos de coraza

Elemento de coraza	n	Colocación	Coeficiente de capa $K_{\Delta}$	Porosidad (P), en porcentaje
Roca de cantera (lisa)	2	Volteo	1.02	38
Roca de cantera (ruga sa)	2	Volteo	1.15	37
Roca de cantera (ruga sa)	3	Volteo	1.10	40
Cubo modificado	2	Volteo	1.10	47
Tetrápodo	2	Volteo	1.04	50
Quadrípodo	2	Volteo	0.95	49
Hexápodo	2	Volteo	1.15	47
Tribar	2	Volteo	1.02	54
Dolos	2	Volteo	1.00	63
Tribar	1	Uniforme	1.13	47

El espesor de la capa secundaria será

$$\frac{w}{10} = \frac{2200}{10} = 220 \text{ kg}$$

$$\therefore E = 2 \times 1.15 \left( \frac{220}{2200} \right)^{1/3} = 1.07 \approx 1.20 \text{ m}$$

E se aceptará de 1.20 m.

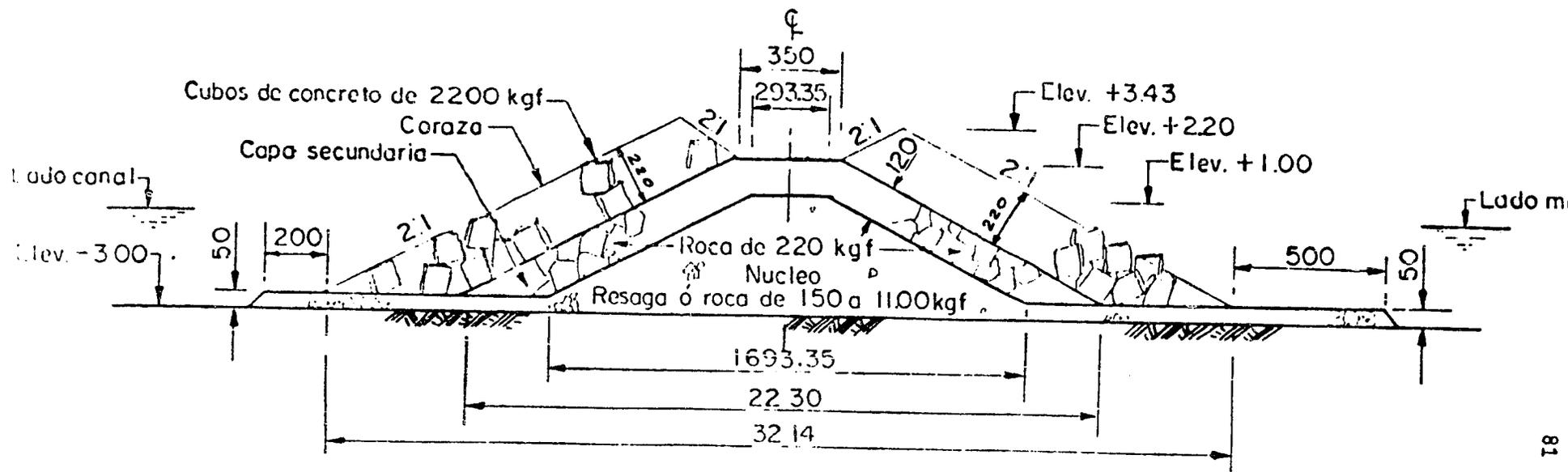
Número de elementos para coraza, para una área de:

$A = 100 \text{ m}^2$ ,  $P = 47\%$ , de acuerdo a la ecuación 15 tenemos:

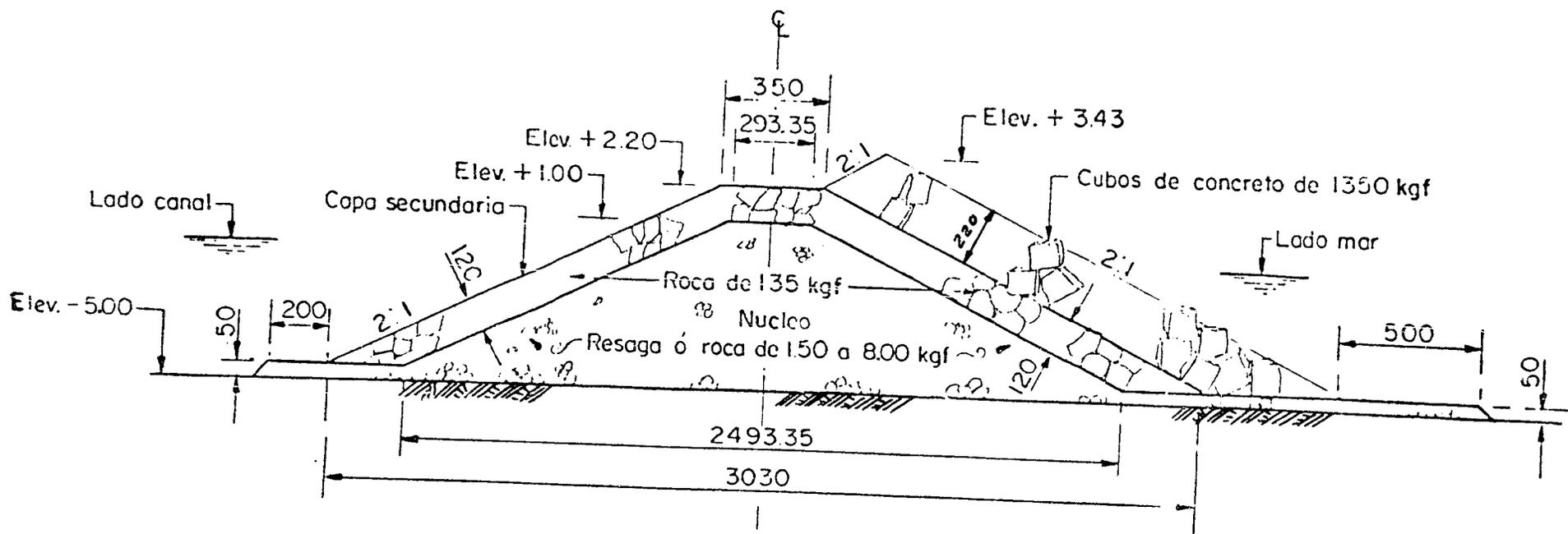
$$\therefore N = 2 \times 1.10 \left( 1 - \frac{47}{100} \right) \left( \frac{2200}{2200} \right)^{2/3} \times 100 = 116.6 \approx 117$$

Se colocarán 117 cubos en  $100 \text{ m}^2$  de la escollera.

Núcleo.- El núcleo está formado con roca y resaga que no tiene el peso necesario para ser elemento de coraza o de la capa secundaria éstos se pueden extraer de canteras.



Sección en planta a la cota -3.00



Sección en trazo a la cota -5.00

## V. DETERMINACION DE CANTIDADES DE OBRA

Se calcularán los volúmenes geométricos, para que después se afecten por un coeficiente de relación de vacíos, y obtener los volúmenes reales. Por último se hará un presupuesto preliminar

Volúmenes geométricos.

Se cuantificará

- Coraza en kgf.
- Capa secundaria en  $m^3$
- Núcleo en  $m^3$

El dragado del canal no se cuantificará, ya que se considera que la velocidad del cauce tendrá la capacidad de arrastrar las particular sólidas. Y en volumen serían mínimas.

Coraza:

Se calculará el área de la coraza

$$A = L.b$$

b = ancho del talud, h, se tomará un promedio para la cota - 3.00 y  
- 5.00 m., de la elev. + 3.43.

∴ h = 7.43, si el talud es 2:1

$$a = 14.86. ∴ b = 16.61 \text{ m}$$

L = (40.00 m x 4) = 160 m para morro y

L = (6510 m x 2) = 13020 m = para tronco ( No llevará coraza en el lado del canal)

$$∴ \text{Area morro} = 2658 \text{ m}^3$$

si 100  $m^2$  se lleva 117 elementos de 2200 fgf.

∴ El peso para morro será = 6'841 692 kgf.

$$\text{Area tronco} = 216 262 \text{ m}^2$$

∴ peso = 341'585 829 kg.f.

∴ Total Coraza = 348'427 521 348.427 Ton. f.

Capa secundaria:

$$\text{Vol.} = \text{Area} \times \text{longitud} = A.L.$$

b = ancho del talud, h media = 6.20m.

$$a = 12.40 \text{ m}^2 \quad b = 13.96 \text{ m}$$

$$h = 5.60 \text{ m}$$

$$a = 11.20 \quad b_0 = 12.52 \text{ m}$$

$$\therefore \text{Area cap. sec.} = 34.871 \text{ m}^2$$

$$L = 6510$$

$$\therefore \text{Vol. capa sec} = 227010 \text{ m}^3$$

Núcleos y delantales:

$$\text{Vol.} = \text{Area} \times \text{longitud} = A.L.$$

$$h = 5.00 \text{ m}$$

$$r = 22.93$$

$$A \text{ núcleo} = 64.66 \text{ m}^2$$

$$A \text{ delantales} = 15.37 \text{ m}^2$$

$$\therefore \text{Vol.} = 420936 \text{ m}^3$$

Volumenes reales.

Para obtener los volúmenes reales, se afectará el volumen calculado anteriormente por un coef. de relación de vacíos. ( e )

Al concepto de coraza no se afectará porque está dado en peso

e, tomará los siguientes valores:

$$e = 0.65 \text{ para capa secundaria}$$

$$e = 0.80 \text{ para núcleo}$$

donde:

$$e = \frac{V_v}{V_v + V_s} \quad n = \frac{V_v}{V_v + V_s} \quad n = \text{porosidad}$$

$$\therefore n = 0.35 \text{ para capa secundaria}$$

$$n = 0.20 \text{ para núcleo}$$

donde:

$V_v$  = Volumen de vacíos

$V_s$  = Volumen de sólidos

$V_t$  = Volumen de total

$$\text{si } e = \frac{V_v}{V_s} \quad n = \frac{V_v}{V_v + V_s}$$

despejando  $V_v$  e igualando se tiene que

$$e V_s = n V_t$$

$\therefore V_s = \frac{n V_t}{e}$  : para los dos casos capa secundaria y núcleo se cuenta con  $V_t$ .

$$\therefore V_s \text{ para capa secundaria} = \frac{0.35 \times 227010}{0.65} = 122\,236 \text{ m}^3$$

$$\text{y } V_s \text{ para núcleo} = \frac{0.20 \times 420936}{0.80} = 105\,234 \text{ m}^3$$

Como estos conceptos por lo regular se pegan en ton.. sólo basta dividirlos entre la densidad del material.

Considerando que la densidad sea =  $1.80 \text{ ton/m}^3$

$$\therefore \text{Peso capa secundaria} = \frac{122236 \text{ m}^3}{1.8 \text{ ton/m}^3} = 67\,909 \text{ ton.}$$

$$\text{y peso núcleo} = \frac{105234 \text{ m}^3}{1.8 \text{ ton/m}^3} = 58\,463 \text{ ton.}$$

$\therefore$  Las cantidades de obra serán:

Coraza . . . . . = 348 427 ton.

Capa secundaria . . . . . = 67909 ton.

Núcleo . . . . . = 58463 ton.

#### V.1 Presupuesto preliminar

El presupuesto preliminar se obtendrá de la siguiente forma

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
Coraza: Cubos de concreto de $2\,200 \text{ kg/m}^3$	Ton.	348 427	22,000.00	7665'394.000
Capa secundaria: Cubos de concreto o roca de cantera	Ton.	67 909	19,000.00	1290'271,000
Núcleo: Fragmentos de roca de cantera.	Ton.	58 463	18,000.00	1052'334,000
				10008'000,000

COSTO DIRECTO	=	10,008'000,000 \$
+ 1% ING.	=	100'079,990 \$
COSTO TOTAL	=	<u>10,108'070,000 \$</u>

. . El costo es de \$ 10,108'070,000 \$  
para enero de 1987

lo cual representa una inversión durante la construcción de la obra. (única-  
mente de las escolleras. mas no del dragado del canal de navegación, por  
no tener datos para su cuantificación).

\* Los precios unitarios fueron proporcionados por la Dirección General de  
Obras Marítimas departamento de Precios Unitarios, S.C.T.

## CONCLUSIONES

El diseño de las escolleras se realizó tomando en cuenta las condiciones meteorológicas, oceanográficas y climáticas de la región, además de las características de la desembocadura del río Grijalva, concluyéndose lo siguiente:

- a) La margen derecha presenta características autodragables, aunque en un espacio reducido. Por otro lado, en la desembocadura se forma una zona de depósitos de sedimentos debido al transporte litoral.
- b) La zona costera tiene una pendiente muy baja, lo cual permite el amortiguamiento de la energía del oleaje.
- c) La variación de altura de ola por efecto de las mareas astronómicas son despreciables, aunque tiene capacidad para transportar material en suspensión.
- d) La dirección neta del transporte litoral se presenta de Este a Oeste.

La solución por la que se opta en este trabajo, consiste en la construcción de escolleras convergentes de 3 800 m Oeste, y 2 800 m Este, alineadas de tal manera que forman un canal autodragable; y estimando que las velocidades del cauce que se presentarán en la sección del morro serán alrededor de 2.00 m/seg., y además rompiendo la zona de depósitos de sedimentos en una primera etapa. La altura de ola de diseño fue; 2.34 m.

## B I B L I O G R A F I A

La mayoría de los libros que se consultaron para la realización de este trabajo, fueron en español. En menor frecuencia se consultó bibliografía en inglés para obtener algunos datos de diseño.

- 1.- TITULO; Ingeniería Marítima  
AUTOR; R. Bustamante y Coria Treviño  
EDITORIAL; Temas marítimos, S. de R.L.  
PAIS; México, 1976  
No. PAG. 783
- 2.- TITULO; Estructuras Marítimas  
AUTOR; Luis Herrejón de la Torre  
EDITORIAL; Limusa  
PAIS; México, 1979  
No. PAG. 119
- 3.- TITULO; Manual de diseño de Obras Civiles (Hidráulica Marítima)  
AUTOR; C.F.E. (Instituto de Investigaciones Eléctricas)  
EDITORIAL; Mexicana, S.A.  
PAIS; México  
No. PAG. 468
- 4.- TITULO; Puertos  
AUTOR; Carlos H. Treviño, Jorge H. Treviño y José G. Vázquez  
EDITORIAL; Arténika  
PAIS; México, 1979  
No. PAG. 166
- 5.- TITULO; Desarrollo Costero (Curso de Obras Marítimas)  
AUTOR; División de Educación continúa, Facultad de Ingeniería UNAM  
EDITORIAL; ----  
PAIS; México, 1984  
No. PAG. ----

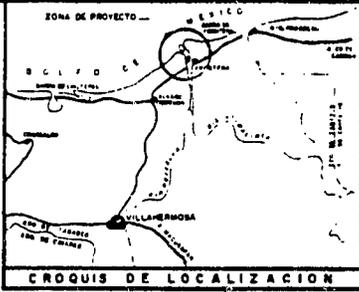
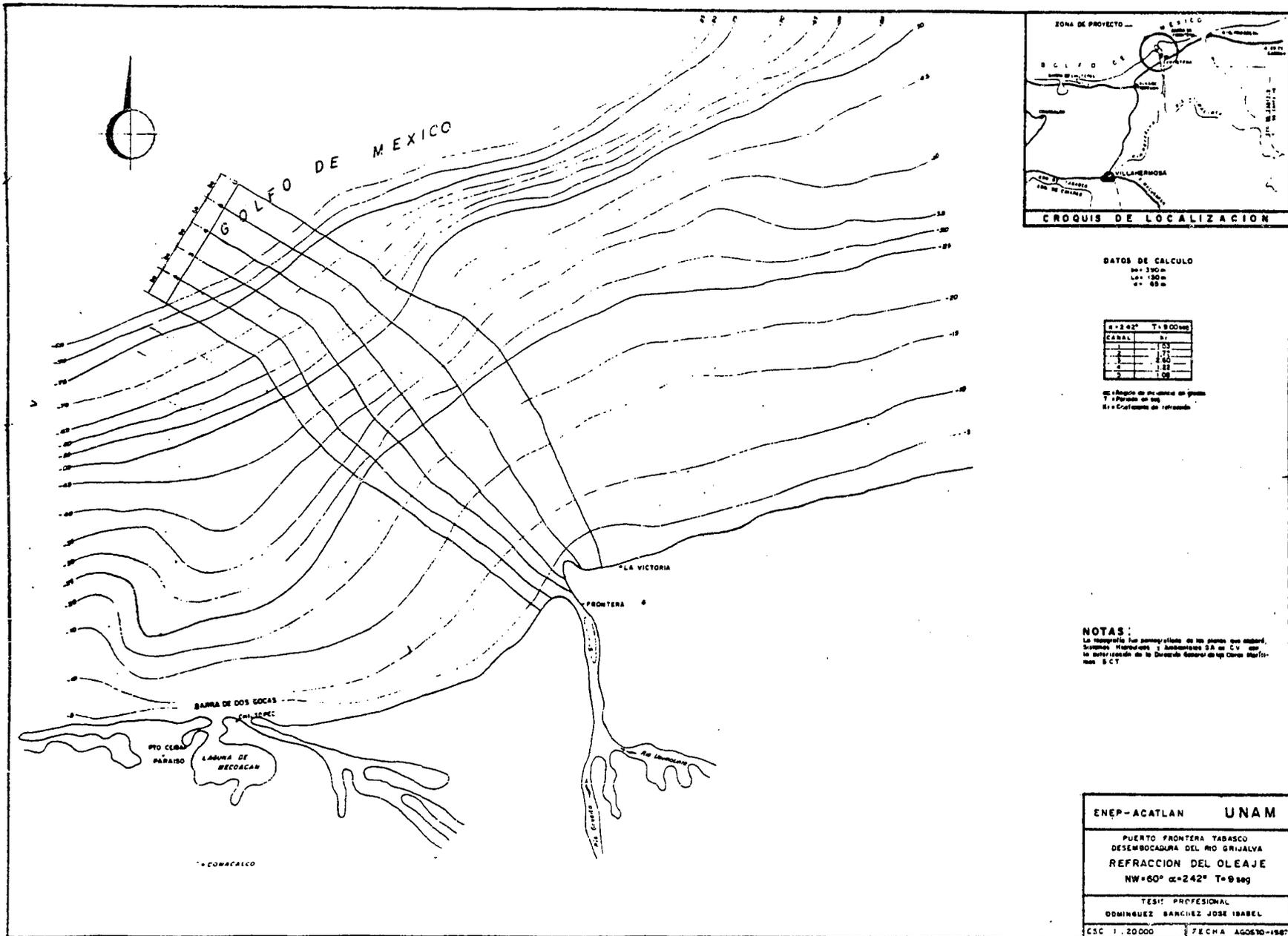
6.- TITULO; ESTABILITY OF RUBBLE MOUND SLOPES UNDER RANDON WIVE ATTAK.

AUTOR; 19th INTERNACIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 3-7  
SEPTEMBER 1984, HOUSTON.

PAIS; ESTADOS UNIDOS

No. PAG. 17





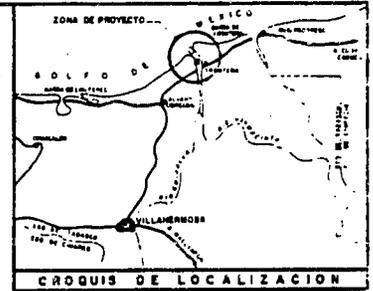
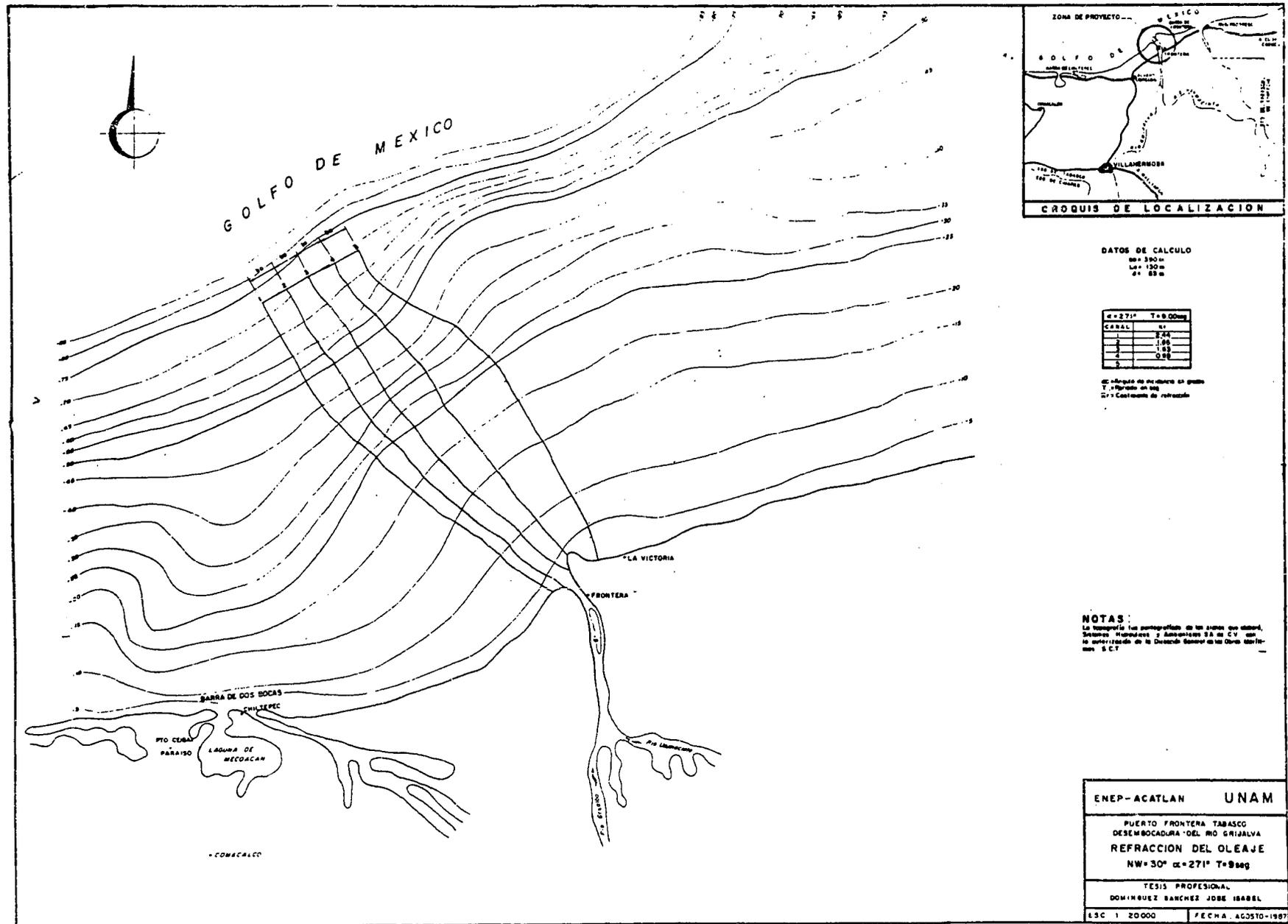
**DATOS DE CALCULO**  
 R = 390 m  
 L = 150 m  
 d = 85 m

α = 2.42° T = 9.00 seg	
CARGA	H
1	1.55
2	1.52
3	1.51
4	1.50

H = Altura de la presa en metros  
 T = Periodo en seg  
 H = Coeficiente de retención

**NOTAS:**  
 La topografía fue levantada de los planos que obran.  
 Se usaron planimétricos y altimétricos S.A. en C.V. con  
 la autorización de la Dirección General de los Cursos Marítimos  
 S.C.T.

ENEP-ACATLAN	UNAM
PUERTO FRONTERA TABASCO DESEMBOCADURA DEL RÍO GRIJALVA REFRACCION DEL OLEAJE NW=60° α=2.42° T=9 seg	
TESIS PROFESIONAL DOMINGUEZ BANCHEZ JOSE ISABEL	
CSC 1.20000	FECHA AGOSTO-1987



DATOS DE CALCULO  
 M = 300 m  
 L = 150 m  
 Z = 85 m

α = 271°	T = 800m
CARAL	51
1	2.24
2	1.95
3	1.65
4	0.96
5	

α = Ángulo de incidencia en grados  
 T = Distancia en metros  
 C = Constante de refracción

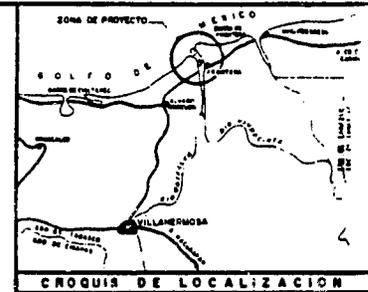
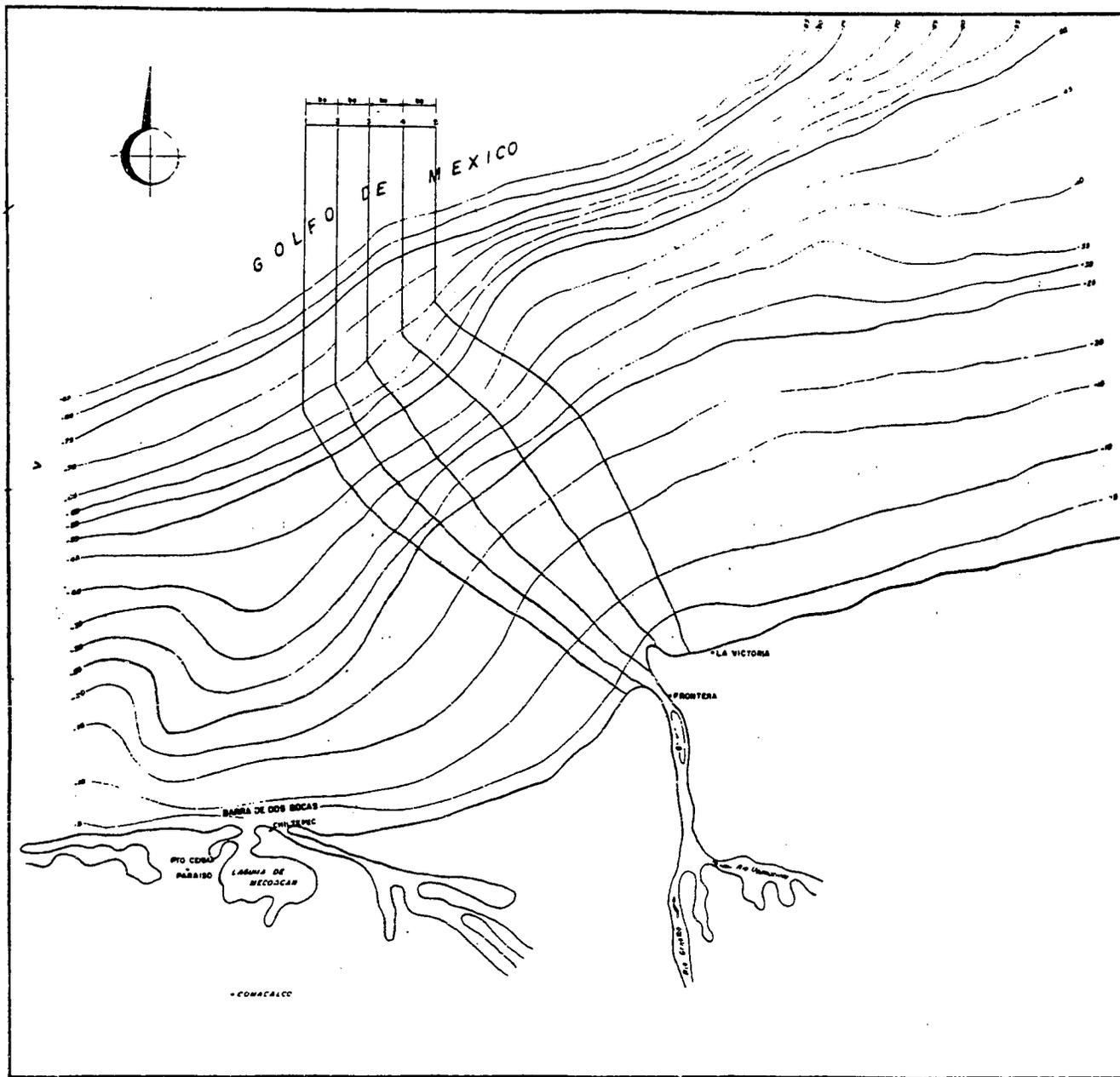
NOTAS:  
 La topografía fue levantada en los años 1960-1961, 1962-1963 y 1964-1965 en C.V. con la autorización de la Dirección General de los Servicios S.C.T.

ENEP-ACATLAN UNAM

PUERTO FRONTERA TABASCO  
 DESEMBOCADURA DEL RIO GRIJALVA  
 REFRACCION DEL OLEAJE  
 NW = 30° α = 271° T = 800m

TESIS PROFESIONAL  
 DOMINIGUEZ BANCHEZ JOSE ISABEL

LSC 1 20000 FECHA: AGOSTO-1987



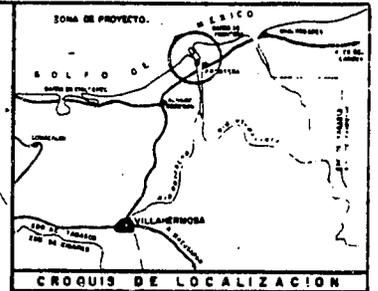
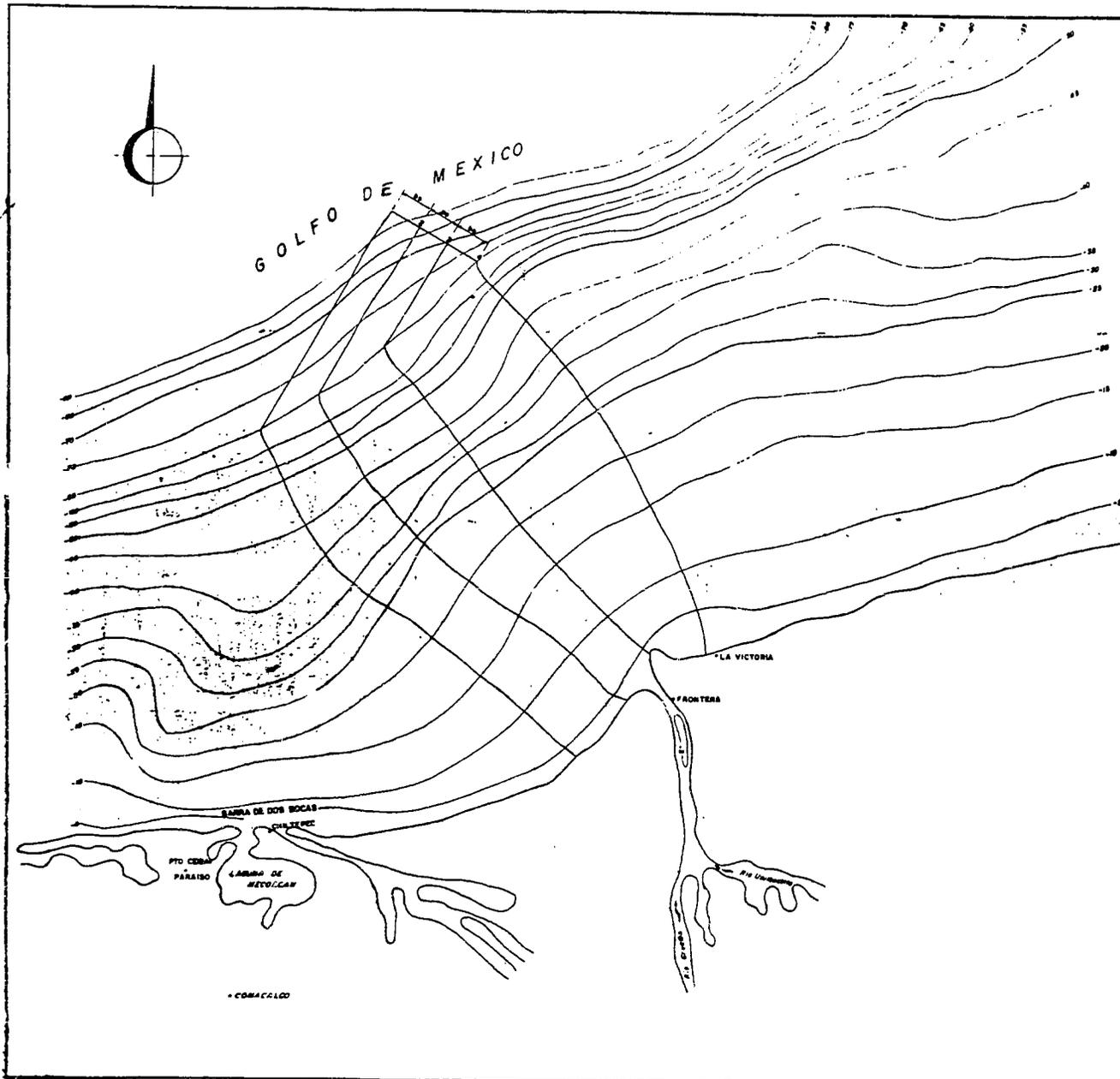
**DATOS DE CALCULO**  
 Bx= 390 m  
 Lx= 130 m  
 G= 68 m

G=30°	T=900mg
CASAL	5
	10
	15
	20

G = Ángulo de inclinación en grados  
 T = Período en seg.  
 G = Constante de refracción

**NOTAS:**  
 La topografía fue realizada en los puntos de la zona de estudio y en los puntos de control de la zona de estudio de la Dirección General de Estudios Geográficos S.C.T.

ENEP-ACATLAN	UNAM
PUERTO FRONTERA TABASCO DESEMBOCADURA DEL RIO SRIALVA REFRACCION DEL OLEAJE NW= 0° α= 30° T= 900g.	
TESIS PROFESIONAL DOMINUEZ SANCHEZ JOSE ISABEL	
ESC 1 20000	FECHA AGOSTO-1987



**DATOS DE CALCULO**  
 B = 500 m  
 L = 100 m  
 A = 0.5 m

$\alpha = 33^\circ$	$T = 900 \text{ seg}$
CAROL	SI
	0.45
	0.05
	0.85

de ángulo de declinación en grados  
 T = Periodo en seg  
 R = Constante de refracción

**NOTAS:**  
 La topografía fue cartografiada de los datos con el sistema de coordenadas UTM de la zona 18Q, con la escala horizontal de 1:50,000 y la escala vertical de 1:10,000. Se usó el método de la Curva Nivel de los Datos de la Topografía S.C.T.

ENEP-ACATLAN	UNAM
PUERTO FRONTERA TABASCO DISEÑO CADENA DEL RIO GRIJALVA REFRACCION DEL OLEAJE $\alpha = 33^\circ$ $T = 9 \text{ seg}$	
TESIS PROFESIONAL DOMINGUEZ SANCHEZ JOSE ISABEL	
ESC: 1 20000	FECHA: 08/08/1987

